

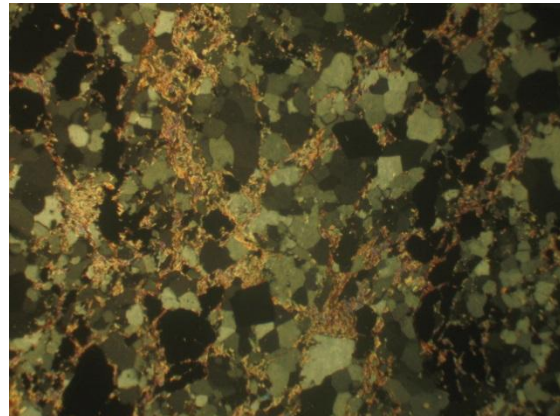
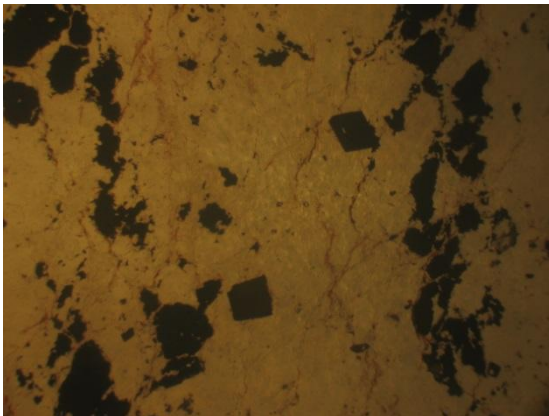


**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA**  
**“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”**  
**FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA**  
**Departamento de Geología**

---

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL  
TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO**

**CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA DE LAS UNIDADES  
LITOLÓGICAS DEL GRUPO KHOABENDUS Y LA SERIE  
GRANÍTICA FRANSFONTEIN EN EL SECTOR 1914CB  
KAMANJAB AL NOROESTE DE KAMANJAB, NAMIBIA**



**AUTOR:** MTUNDENI NDAFYAALAKO

**TUTORES:** Dra. C MARIA MARGARITA HERNÁNDEZ SARLABOUS  
Ing. YURISLEY VALDÉS MARIÑO

**Moa, 2013**

**DEDICATORIA**

A mis padres, por haberme hecho lo que soy hoy; por su cariño, dedicación, comprensión, sacrificio y por criarme con una educación estupenda y sobre todo por su amor incomparable.

Al nuevo piloto y hermano mío MK por haberme inspirado a materializar el sueño de nuestras vidas, ser geólogo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente quiero agradecer la Revolución Cubana que me dio la posibilidad de perseguir una carrera universitaria y a mi país por haberme dado la oportunidad de realizar mi sueño.

Quiero dejar constancia de mis más sinceros agradecimientos a las siguientes personas:

Dra. C Maria Margarita Hernández Sarlabous, profesora y tutora de éste trabajo, gracias por todo lo que usted me ha enseñado durante las tantas horas que pasamos en el laboratorio.

Ing. Yurisley Valdés Mariño, profesor y tutor del presente trabajo, gracias por su apoyo en todo momento. Si no fuera por ustedes, mis tutores, nada de lo que hubiese hecho sería igual. Ustedes merecen toda mi gratitud por haberme ayudado en todo lo que hicieron.

A los geólogos de la división de Geociencia Regional del Servicio Geológico de Namibia, en especial Mee Anna por haberme recibido y facilitado el importante curso GiS, Tate Muvangua y Jason por haberme acompañado y enseñado tanto durante los trabajos de campo en Kamanjab.

A todos mis profesores que me ayudaron con su gran conocimiento, al Departamento de Geología del ISMM cuyos integrantes aportaron críticas y sugerencias valiosas,

A mis compañeros de aula, por su preocupación y apoyo durante los 5 años de estudios,

A Leyanis Q. Revé, eres una petróloga brillante, gracias por tu ayuda,

A mi familia Mom, Dad, y todos mis hermanos; MK por siempre preocuparte por mí, Loreinis, gracias por haberme cuidado y soportado durante estos cinco años; Delia y Lorenzo mi mayor agradecimientos porque ustedes fueron mis padres en Cuba. Jeez Mureka, gracias por haberme traído el paquete de mis muestras.

A mis 'niggas' Ibn, Nov & Chris; los namibios, los demás estudiantes extranjeros y cubanos, y a todos mis maravillosas amigas y amigos quienes compartieron conmigo momentos buenos y malos.

A todos los que hicieron posible que este trabajo se haya realizado...

Les entrego mis más sinceros agradecimientos.

**MUCHÍSIMAS GRACIAS**

## **PENSAMIENTO**

*Cuando se persigue un sueño todo el universo conspira a tu favor*

Paulo Coelho

*Man can form things in his thought, and, by impressing his thought upon formless substance, can cause the thing he thinks about to be created.*

Wallace D. Wattles

## RESUMEN

El presente trabajo investigativo titulado: **Caracterización petrográfica de las unidades litológicas del grupo Khoabendus y la Serie granítica Fransfontein en el sector 1914CB Kamanjab al noroeste de Kamanjab, Namibia** está basado en el estudio geológico, características mineralógicas, texturales y estructurales de las rocas que afloran en el sector 1914CB Kamanjab, con el objetivo de esclarecer desde el punto de vista petrográfico las unidades litológicas del grupo Khoabendus y la serie granítica Fransfontein en el sector 1914CB Kamanjab al noroeste de Kamanjab, Namibia. Para su estudio se analizó la información geológica de varios trabajos ejecutados anteriormente en la región de estudio así como el empleo de diferentes técnicas analíticas tales como el análisis petrográfico, métodos de fluorescencia de Rayos-X y a partir de estos últimos se obtuvieron los valores de los óxidos. Los resultados principales de la investigación están referidos a: las asociaciones minerales principales y el tipo de roca, representación gráfica del complejo granitoides y rocas sedimentarias así como los posibles protolitos de las rocas metamórficas. Igualmente se elabora por vez primera el mapa geológico del sector 1914CB Kamanjab a escala 1:30 000.

La importancia de este trabajo es la perspectiva que presenta la región en manifestaciones de hierro y titanio.

## ABSTRACT

This present investigation work titled: ***Petrographical characterization of the lithological units of the Khoabendus Group and the Fransfontein Granitic Series in the 1914CB Kamanjab northwest of Kamanjab, Namibia*** is based on the study of the geological, mineralogical, textural and structural characteristics of the outcrop rocks in the 1914CB Kamanjab sector northeast of Kamanjab, with the objective of clarifying from the petrological point of view the lithological units of the Khoabendus group and the Fransfontein granitic series in the 1914CB Kamanjab sector northwest of Kamanjab, Namibia. For this study, geological information from various previously executed investigations in the study area was analyzed, so as the employment of different analytical techniques such as petrographic analysis, X-Ray fluorescence method and apart from the latter major element oxides were obtained. Principal mineral associations and the type of rock, graphical representation of granitoid series and sedimentary rocks and thus the possible protoliths of metamorphic rocks reflect the principal results of this investigation. Equally, a geological map of this sector of 1914CB Kamanjab with a scale of 1:30 000 was elaborated.

The importance of this work is the perceptivity of iron and titanium manifestations present in the region.

## ÍNDICE

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN .....                                                              | 9  |
| MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN (ESTADO DEL ARTE).....             | 11 |
| CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO..... | 14 |
| 1.1 Introducción .....                                                          | 14 |
| 1.2 Ubicación geográfica del área de estudio.....                               | 14 |
| 1.3 Clima .....                                                                 | 15 |
| 1.4 Vegetación y fauna .....                                                    | 17 |
| 1.5 Hidrografía .....                                                           | 18 |
| 1.6 Geomorfología y Relieve .....                                               | 19 |
| 1.7 Estructura.....                                                             | 20 |
| 1.8 Economía .....                                                              | 21 |
| 1.9 Características geológicas regionales .....                                 | 21 |
| 1.10 Geología y estratigrafía del área de estudio.....                          | 24 |
| CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y VOLUMENES DE LOS TRABAJOS .....  | 28 |
| 2.1 Introducción.....                                                           | 28 |
| 2.2 Etapa Preliminar .....                                                      | 30 |
| 2.3 Etapa de Trabajo de campo.....                                              | 30 |
| 2.4 Etapa de laboratorio.....                                                   | 32 |
| CAPÍTULO III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....       | 37 |
| 3.1 Introducción .....                                                          | 37 |
| 3.2 Litología y Petrografía .....                                               | 38 |
| 3.3 Interpretación de los análisis de fluorescencia rayos-X .....               | 54 |
| Conclusiones.....                                                               | 56 |
| Recomendaciones .....                                                           | 58 |
| Bibliografía.....                                                               | 59 |
| ANEXOS.....                                                                     | 63 |

# **CAPÍTULO I**

## INTRODUCCIÓN

Namibia es uno de los países más ricos en depósitos y recursos minerales, razón por la cual varias empresas reconocidas a nivel mundial como Rössing y De Beers tienen operaciones mineras en él (KUDUMO 2012). Las rocas existentes en el país reflejan más de 2600 millones de años de la historia de la Tierra, con edades que varían desde el arcaico hasta el fanerozoico. Los yacimientos minerales existentes han sido identificados a lo largo de toda la columna estratigráfica (SUMMARY OF NAMIBIA'S GEOLOGY 2012) y son objeto de prospección y exploración, ejemplo de ello lo constituyen las rocas del Mesozoico al Neoproterozoico que contienen yacimientos extensos de cobre; y los intrusivos graníticos calco-alcalinos de la misma edad que son favorables para mineralizaciones de cobre porfírica e hidrotermal; además de mineralización de oro en venas.

El área de Kamanjab está constituida por las rocas paleoproterozoica y sus intrusivos asociados denominados Kamanjab Inlier (Ventana tectónica Kamanjab), las cuales son principalmente vulcano sedimentarias, series graníticas y complejos metamórficos. Numerosas zonas de mineralización de plomo y zinc han sido observadas alrededor del sector 1914CB Kamanjab, al noreste de Kamanjab (MILLER 2008). El área también es prospectiva para depósitos de sulfuros masivos (formación Otjovazandu); mineralización de estilo porfírica (formación West End); skarn y mineralización de tipo porfírica y de cobre-oro-óxido de hierro asociados a los intrusivos de la serie Granítica Fransfontein (CAVEY & PENNER, 2002). Por tal motivo es entonces necesaria la caracterización petrográfica de las asociaciones litológicas dentro del sector 1914CB Kamanjab, al noroeste de Kamanjab, para ampliar el conocimiento sobre su constitución geológica y contribuir al conocimiento geológico de la zona que permita delimitar las áreas perspectivas para la prospección y exploración.

## **Problema**

Necesidad de caracterizar la petrografía de las unidades litológicas del Grupo Khoabendus y Serie Granítica Fransfontein en el sector 1914CB Kamanjab, al noroeste de Kamanjab, Namibia, teniendo en cuenta la perspectiva de yacimientos minerales asociados a estas litologías.

## **Objeto de estudio**

Unidades litológicas del Grupo Khoabendus y Serie Granítica Fransfontein en el sector 1914CB Kamanjab al noroeste de Kamanjab, Namibia.

## **Objetivo principal**

Caracterizar desde el punto de vista petrográfico las unidades litológicas del grupo Khoabendus y la serie granítica Fransfontein en el sector 1914CB Kamanjab al noroeste de Kamanjab, Namibia.

## **Objetivos específicos**

1. Caracterizar e identificar las fases minerales y características texturales y estructurales presentes en las asociaciones litológicas.
2. Establecer posibles génesis de formación y protolitos (para las rocas metamórficas) de las asociaciones litológicas presentes en el área de estudio.
3. Elaborar un mapa geológico detallado de la zona de los trabajos.

## **Hipótesis**

Si se logra determinar las características petrográficas de las unidades litológicas del Grupo Khoabendus y la Serie Granítica Fransfontein en el sector 1914CB Kamanjab al noroeste de Kamanjab, se podrá realizar una caracterización y clasificación adecuada de las rocas de dichas unidades para la confección del mapa geológico del sector.

## **Aporte científico**

Caracterización petrográfica de las unidades litológicas del Grupo Khoabendus y la Serie Granítica Fransfontein en el sector 1914CB Kamanjab al noroeste de Kamanjab y elaboración del mapa geológico a escala 1:30000 del área.

## **MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN (ESTADO DEL ARTE)**

Durante la primera etapa de la realización de esta tesis, varios trabajos de investigaciones geológicas han sido revisados. Se consultaron trabajos regionales que cubren la geología total de Namibia a una escala muy pequeña, otros que cubren geología regional dentro del cual se encuentra el área de Kamanjab. Diversos estudios durante los últimos años de diferentes escalas tuvieron como objeto la geología local del Grupo Khoabendus y la Serie Granítica Fransfontein. Estos estudios aportaron información valiosa que incluye la geología, petrología y tectónica de la zona.

La ventana tectónica de Kamanjab (Kamanjab Inlier) fue estudiado por varios investigadores desde la década de los sesentas, tal como FRETTS (1969), PORADA (1974), CAVEY & PENNER (2002), BECKER (2006), MUVANGUA (2006), MILLER (2008) y WILSKY (2010), que describieron su geología regional y reconocieron las tres unidades litológicas que la forman: grupo Khoabendus, serie granítica Fransfontein y el complejo metamórfico Huab.

En el año 1974, PORADA realizó una investigación en las rocas del grupo Khoabendus durante la cual él mapeó y describió esta unidad como una formación y la dividió en dos miembros compuestos por rocas vulcano sedimentarias y meta sedimentarias: West End en la parte inferior (ignimbrite porfirítica, rocas piroclásticas, lavas, dacitas y riodacitas, cuarcitas con laminación cruzada) y Otjovazandu en la parte superior (calizas, dolomitas, chert, areniscas, esquistos de areniscas, mármol, tobas, filitas, *iron formation*, ortocuarcitas y esquistos sericíticas). Además propuso que sus litologías

fueron depositadas en una cuenca de *rift* que sufrió varios ciclos de transgresión-regresión y notó la falta de evidencia de depósitos de evaporitas (PORADA 1974).

En el año 2002, CAVEY & PENNER interpretaron datos geofísicos aeromagnéticos y gravimétricos y reconocieron estructuras características de depósitos de óxido de hierro-cobre-oro en la zona. Proponen que el área también es prospectiva para depósitos de sulfuros masivos (formación Otjovazandu); mineralización de estilo porfírica (formación West End); skarn y mineralización de tipo porfírica y de cobre-oro-óxido de hierro asociados a los intrusivos de la serie Granítica Fransfontein (CAVEY & PENNER, 2002)

Durante los trabajos de mapeos geológicos del Servicio Geológico de Namibia realizados durante el periodo 2000-2006, BECKER (2006) realizó investigaciones en éste área de Kamanjab durante los cuales él subdividió la formación Otjovazandu, previamente descrito por PORADA (1974), en tres miembros desde la parte superior Ombonde, Eendrag y Bruno, respectivamente. Además se propone más de 10 tipos de granitos pertenecientes a la serie granítica Fransfontein (dos tipos Kaross y Kamdescha están presentes en el área de estudio). Estos mapeos de reconocimientos se concentraron en la comprobación y ampliación de los rasgos previamente estudiados (BECKER 2006).

En el año 2006, MUVANGUA realizó su investigación sobre la geoquímica y petrología de los granitos, entre otros, Franken, Kamdescha y Kaross pertenecientes a la serie granítica. A través de los diagramas de los elementos trazas inmóviles (Ta, Yb, Th and Hf), propuso que el régimen tectónico activo durante la formación de estas rocas es de carácter margen continental activo y calculó las composiciones mineralógicas normativas de la serie (MUVANGUA 2006).

En el año 2008, MILLER escribió un artículo sobre la geología de las rocas del Arcaico al Mesoproterozoico en Namibia, publicados por el servicio geológico de Namibia, que cubre las tres unidades de la ventana tectónica de Kamanjab. En este trabajo, MILLER

describió la estratigrafía, geología y la petrogénesis de la zona. Su trabajo cubrió de forma sintetizada los grupos de rocas meta vulcano sedimentarias y plutónicas de las formaciones West End, Otjovazandu y los granitoides Fransfontein. En adición, el mismo autor notó la manifestación de un metamorfismo regional de bajo grado en las unidades vulcano sedimentarias marcado por presencia de mármol, crecimientos de biotita en tobas y filitas cloríticas, sausuritización fuerte de plagioclasas cálcicas y alteración de hornblenda a agregados de epidota, clorita y magnetita. También él hace algunas sugerencias de zonas favorables para la exploración de cobre-molibdeno, plomo y zinc (Fm. Otjovazandu) han sido observadas dentro del sector 1914CB Kamanjab (MILLER 2008).

En 2010, como parte de un proyecto de la Fundación Alemana de Ciencia, WILSKY realizó trabajos con fines de caracterizar geoquímicamente y determinar las edades de los granitoides de la ventana tectónica de Kamanjab. En esta investigación donde participaron varios investigadores de universidades de Alemania y Francia, se reconocieron todas las unidades geológicas anteriormente señaladas en el área y concluyen que la edad de los granitoides de ésta serie es de  $1879 \pm 8.9$  Ma (WILSKY 2010).

## **CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO**

### **1.1 Introducción**

### **1.2 Ubicación geográfica del área de estudio**

### **1.3 Clima**

### **1.4 Vegetación y fauna**

### **1.5 Hidrografía**

### **1.6 Relieve**

### **1.7 Economía**

### **1.8 Características geológicas regionales**

### **1.9 Geología y estratigrafía del área de estudio**

#### **1.1 Introducción**

En el presente capítulo se describen los principales rasgos geomorfológicos, tectónicos, hidrogeológicos, climáticos y geológicos del sector analizado así como también las características de la vegetación y la economía, lo cual permitirá tener una panorámica general acerca del área de estudio.

#### **1.2 Ubicación geográfica del área de estudio**

El área de estudio está geográficamente ubicada en la parte noroeste de Namibia, en la región Kunene, situada a 55 km aproximadamente al noroeste de la ciudad de Kamanjab. El área se encuentra en la hoja 1914CB Kamanjab del mapa topográfico nacional de la escala 1:250 000, comprendido entre las coordenadas geográficas siguientes:

A. 19°35'12.250"S hasta 19°37'48.250"S

B. 14°21'04.500"E hasta 14°24'13.500"E

Su extensión es aproximadamente 25km<sup>2</sup> y abarca las granjas Atlanta, Eendrag y Oortrek (ver Figura 1.1).

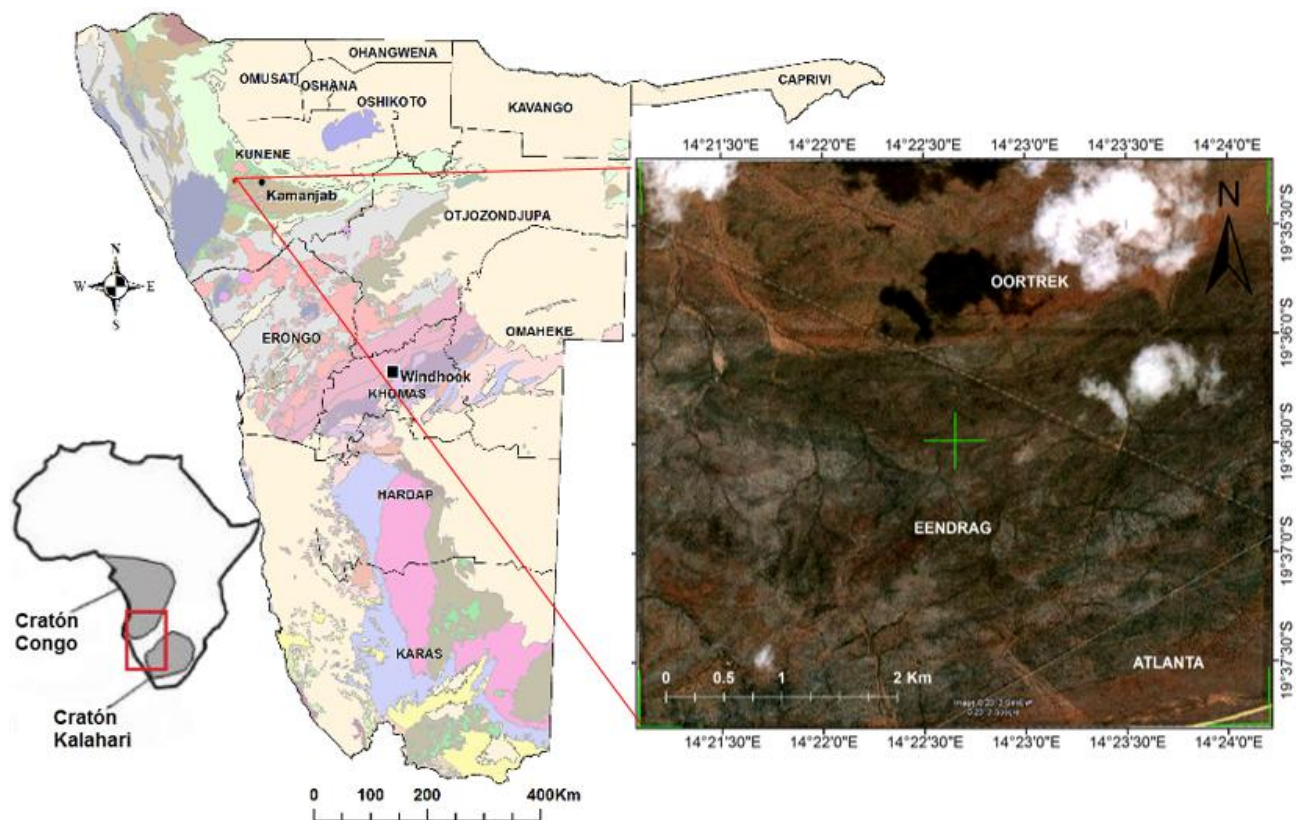


Figura 1.1: Ubicación geográfica del área de estudio

### 1.3 Clima

El clima en este sector es árido. La temporada del verano está entre los meses de noviembre a marzo registrando un promedio de 12 días de lluvia según *Worldweatheronline* (2013), con las máximas precipitaciones en febrero. En el área se registran mínimas precipitaciones durante los meses de invierno (mayo – agosto) a excepción del mes de julio en el cual no ocurren estas (ver Figura 1.2). Las temperaturas varían según la temporada, con un máximo de 33°C durante el verano y un mínimo de 5°C en el invierno (ver Figura 1.3) (<http://www.levoyageur.net/weather-namibia-kamanjab>, 30-01-2013).

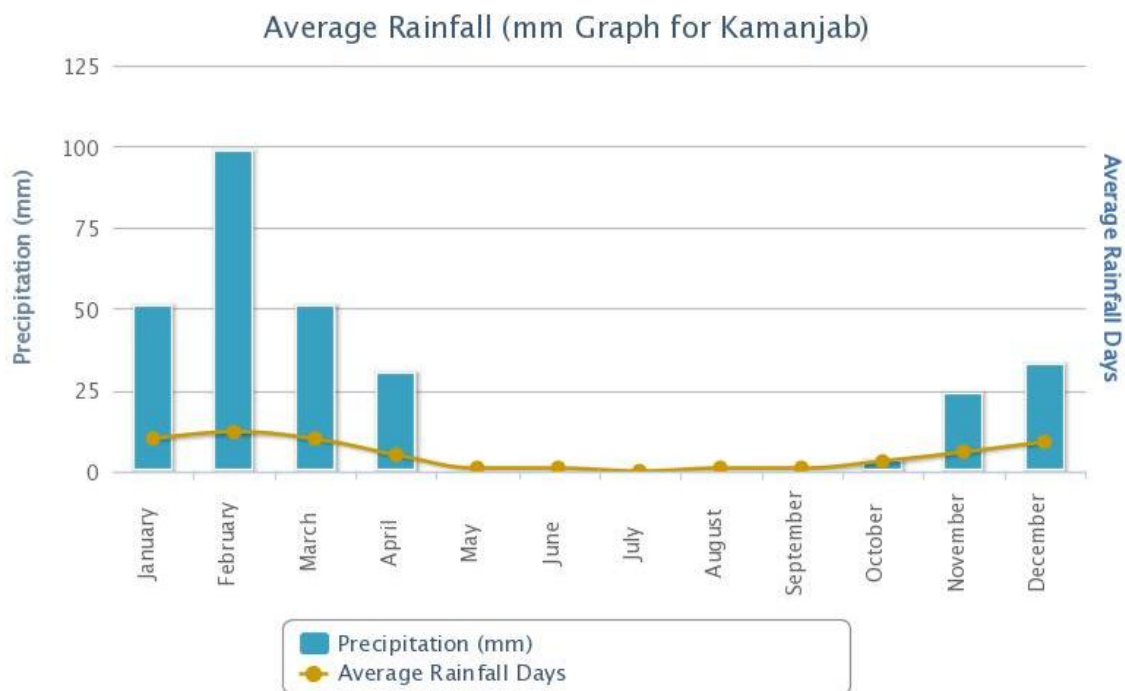


Figura 1.2: Gráfica de los promedios de la lluvia y los días de lluvia del área de Kamanjab (tomado de *worldweatheronline.com*)

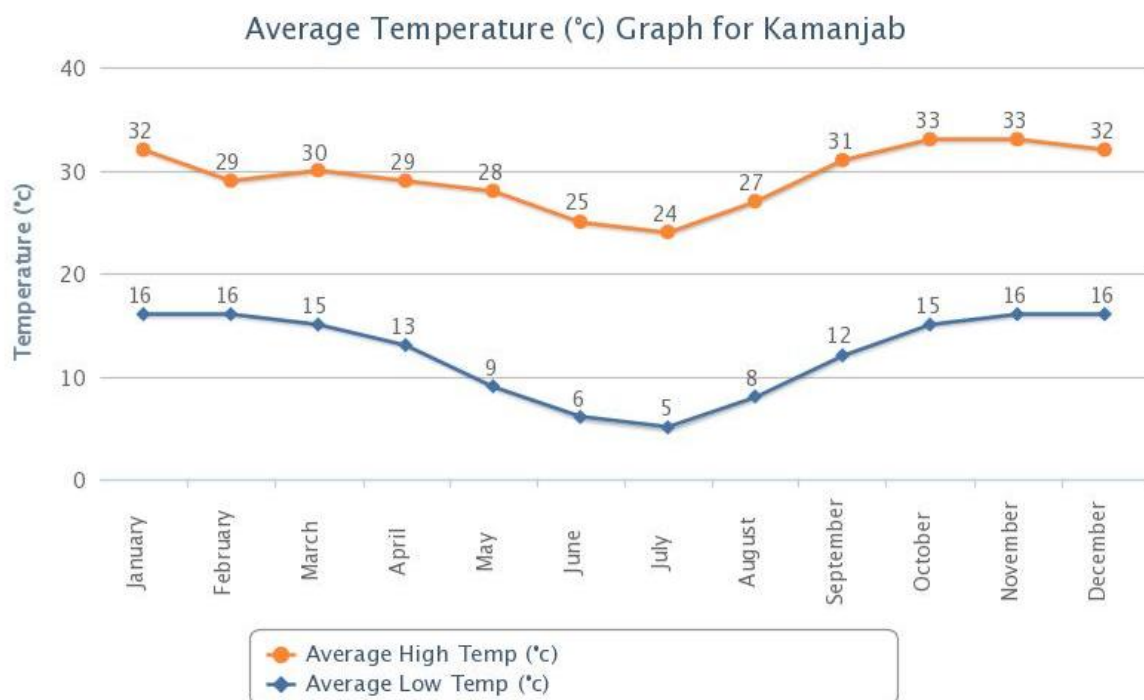


Figura 1.3: Gráfica de los promedios de las temperaturas mínimas y máximas del área de Kamanjab (tomado de *worldweatheronline.com*)

## 1.4 Vegetación y fauna

La forma más abundante está representada por arbustos de mopanes (*Colophospermum mopane*) dispersadas, Sand-veld Acacia (*Acacia fleckii*), sabana y bosques ribereños. La densidad de la vegetación aumenta con la proximidad y a los ríos. En el centro hacia la dirección oeste, la vegetación es comparativamente densa como se ve en las fotos siguientes (Figura 1.4). El suelo está cubierto por hierba escasamente poblada que se seca durante los meses del invierno igual que la mayoría de los otros tipos de vegetación en éste área, características estas de una zona árida semidesértica.



Figura 1.4: Fotos de las distintas formas de la vegetación del área de estudio [Foto **A** tomada en el sector noreste (coordenadas S19°35'46.74"; E14°23'34.62"), cámara apuntada hacia NE; Foto **B** tomado en el centro (coordenadas S19°37'07"; E14°21'48") cámara apuntada hacia W].

La fauna existente en la región incluye animales salvajes como chacales, jirafas, elefantes y antílopes. Según los pobladores del área, migran hacia esta zona también leopardos, onzas y hienas durante el verano desde el parque nacional Etosha, que está a poca distancia del área estudiada. Además existen numerosos animales de ganado caprino, bobino y vacuno de las tres granjas dentro de las cuales está ubicado el área de estudio.

## 1.5 Hidrografía

Existen numerosas cuencas de ríos temporales en el área de estudio (ver Figura 1.5), que resultan del escurrimiento rápido de las aguas de lluvia de la zona. Las cuencas en el sector NE son parecidos a llanuras de inundación con frecuentes meandros. Sin embargo, en la zona central al NW del área los valles de los ríos secos son más estrechos y profundos presentando manifestaciones de erosión violenta. Cuando se excavó un hueco con un cuchillo en los ríos en ambos sectores del área, se encontró suelo húmedo a pocos centímetros de profundidad. Debido a que todos son ríos y arroyos de ríos temporales, las cuencas hidrográficas de esta zona no tienen nombres.

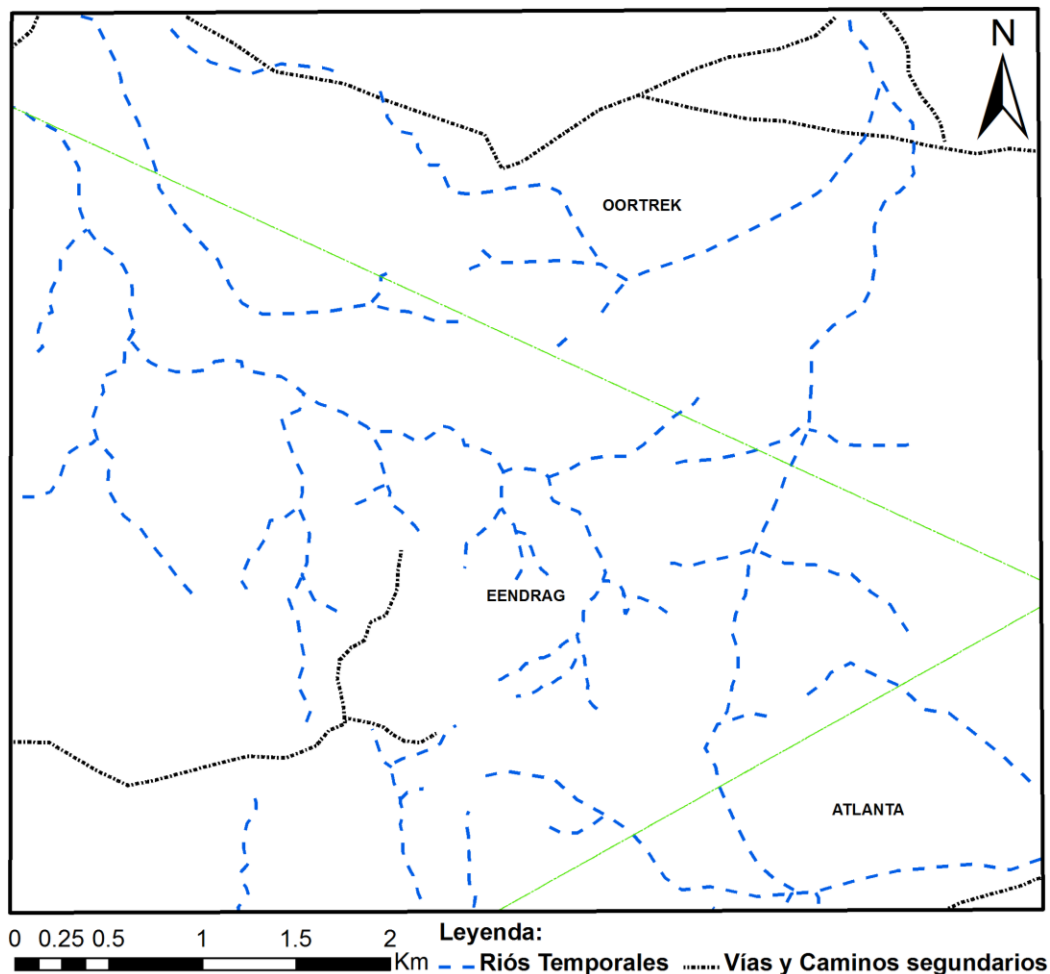


Figura 1.5: Red hidrográfica del área de estudio formada por ríos y arroyos temporales

## 1.6 Geomorfología y Relieve

En este área se han determinado dos zonas geomorfológicas: llanuras y montañas. Las llanuras son abrasivas y presentan un desarrollo limitado cercano a algunas cuencas fluviales de la zona. Hacia la parte sur predominan las montañas bajas de cimas apuntadas.

El área de estudio muestra una elevación de aproximadamente 1000 hasta 1500 m sobre el nivel del mar (WILSKY 2010). El relieve promedio está alrededor de 1200m. Hacia el sector NE el relieve es llano con elevaciones bajas alrededor de los 1100m. En el centro y centro oeste y centro sureste, la elevación aumenta hasta llegar a los 1286m en el punto más alto del área, según el mapa topográfico 1914CB Kamanjab.

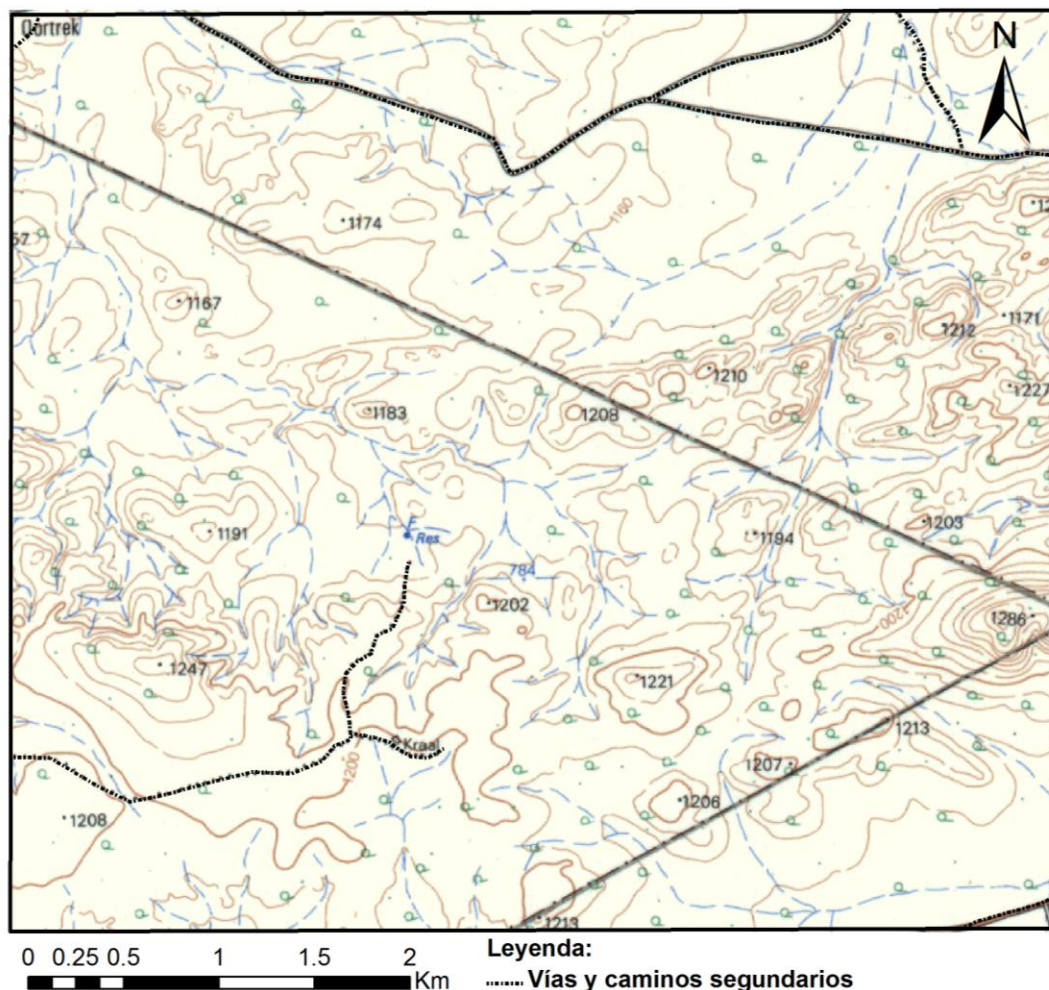


Figura 1.6: Relieve del área de estudio (Modificado del mapa topográfico 1914CB Kamanjab 2012)

### 1.7 Estructura

Según MILLER (2008), la estructura de las rocas en esta área está dominada por dos principales sinclinorias de tendencia NE-SW. Esto se observó en los afloramientos que presentan foliación con excepción de las unidades en el centro y en los cambios bruscos en esta tendencia en extremo norte de la Granja Eendrag. En adición, valores de buzamiento próximos a lo vertical predominan en los afloramientos comúnmente con dirección NW-SE (ver Anexo 4). Plegamientos locales se observan en las cuarcitas en el sector sur.

Varias fallas se reportan, la mayoría en dirección NE-SW (Figura 1.7). Dos fallas extensas que atraviesan el sector sur se asocian a la mineralización de epidota en los esquistos cuarzosos. Se reporta una falla inversa en sector SW.

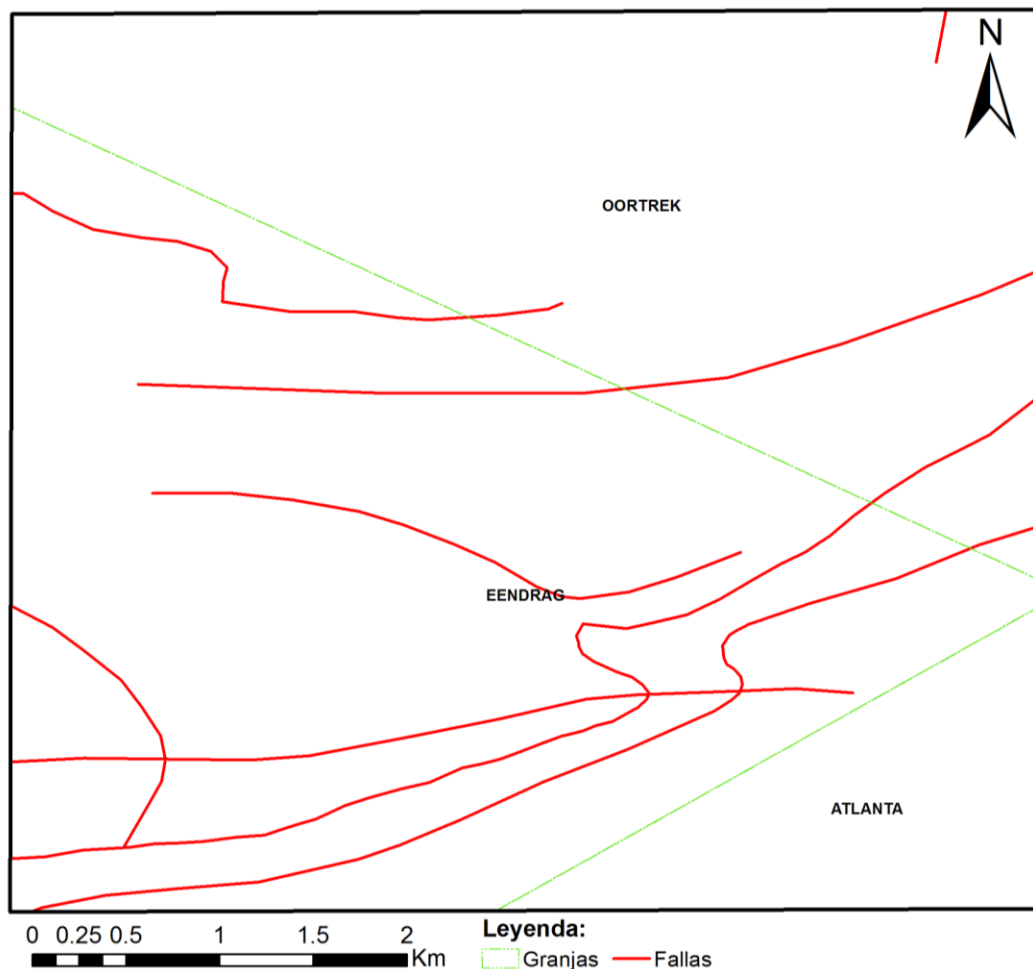


Figura 1.7: Fallas en el área de estudio

## **1.8 Economía**

La economía de esta zona es principalmente la agricultura y el turismo. La ganadería comercial y comunal son las actividades económicas más importantes del área. También la importancia de esta área se valora por el vínculo que se establece para el turismo faunístico y la unión de los polos turísticos de Kamanjab y Khorixas incluyendo varios campamentos turísticos al este de esta área.

## **1.9 Características geológicas regionales**

### **1.9.1 Namibia dentro de la geología del sur de África**

Durante el extenso desarrollo global de corteza continental del Paleoproterozoico que ocurrió hace entre 2.0 - 1.8 billones de años se desarrollaron los cratones Congo y Kalahari que dominan las partes norte y sur de Namibia, respectivamente (Figura 1.8). Cada margen cratón se caracteriza por varias ventanas tectónicas que se le vinculan. A lo largo del cratón Congo se vinculan el complejo metamórfico Epupa (EMC), la ventana tectónica de Kamanjab (Kamanjab Inlier) y el complejo metamórfico Grootfontein (GMC) mientras que los complejos Abbabis, Rehoboth y Sinclair son a lo largo del cratón Kalahari (VIETZE 2009, WILSKY 2010).

A continuación se presenta el mapa que resume la geología y estratigrafía de Namibia (Figura 1.9), modificado de MILLER (2008)

Debido a que este trabajo está concentrado en un área dentro de la ventana tectónica de Kamanjab, del cratón Congo, solo se explicará con más detalles la geología regional de esta unidad.

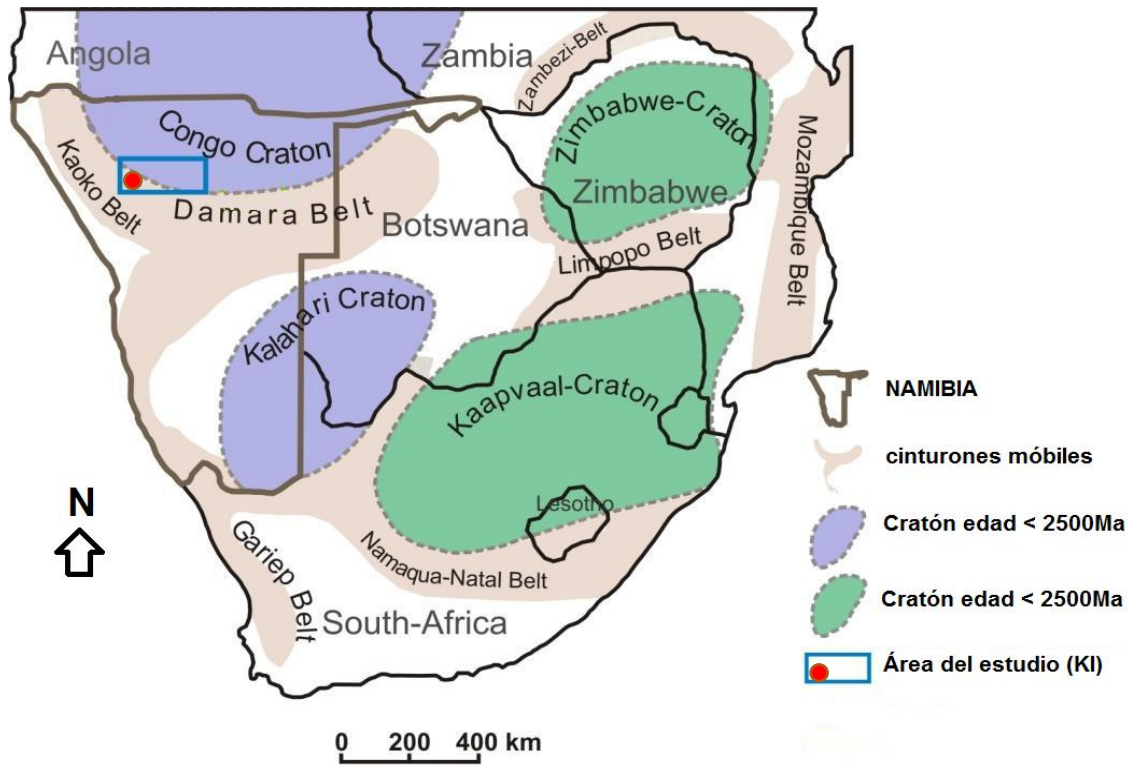


Figura 1.8: Los cratones del sur de África (modificado después de WILSKY 2010). Los cratones Congo y Kalahari del Paleoproterozoico y el cinturón Damara del Neoproterozoico forman las tres unidades geológicas fundamentales de Namibia.

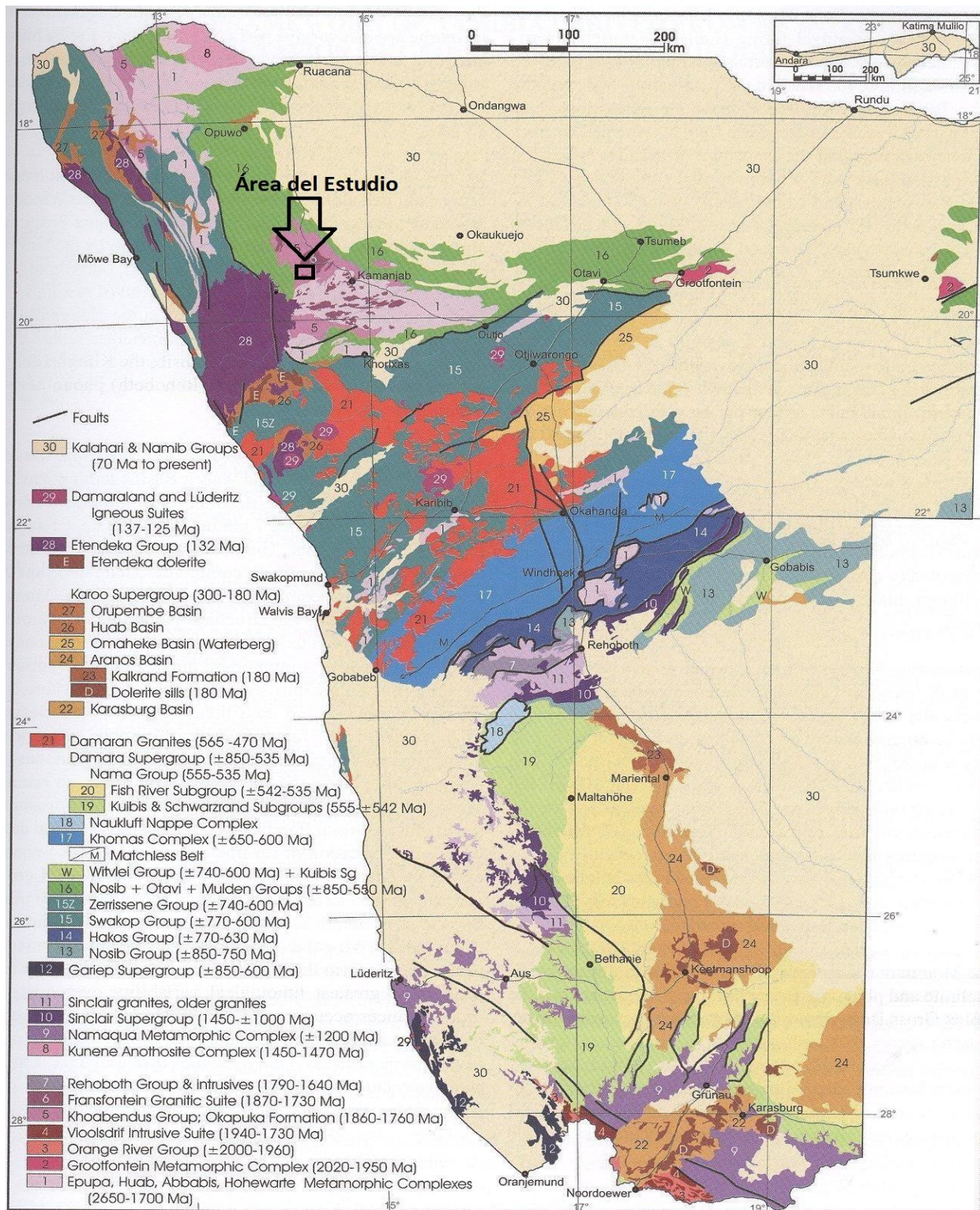


Figura 1.9: La geología y estratigrafía de Namibia (modificado desde MILLER, 2008)

### 1.9.2 La ventana tectónica de Kamanjab (Kamanjab Inlier)

Se le nombra *inlier* a un área constituido por rocas antiguas rodeadas por rocas más jóvenes (BROOK Y WHITTEN, 1972, J. INDONGO com. pers. 2012). Estas estructuras son formadas típicamente por la erosión de rocas más jóvenes para revelar una exposición limitada de rocas subyacentes más viejas (LISLE, 2011). Según DÁVILA BURGA (2011) este término inglés, *inlier*, refiere a una ventana tectónica.

Esta ventana tectónica de Kamanjab (KI) que constituye nuestra área de estudio está representado por tres unidades litológicas fundamentales: el grupo vulcano sedimentaria y metasedimentaria Khoabendus, la serie granítica Fransfontein y el complejo metamórfico Huab (MILLER 2008, WILSKY 2010). El presente área de estudio incluye estas dos primeras.

## 1.10 Geología y estratigrafía del área de estudio

### 1.10.1 El grupo Khoabendus

PORADA (1974) mapeó y describió este grupo y lo subdividió en dos miembros (1) el miembro inferior West End y el (2) miembro superior Otjovazandu. WILSKY (2010) refirió a éste miembro superior como Fm Otjivasandu. En general, el grupo Khoabendus ésta representado por rocas volcánicas calco-alcalinas, intermedias a ácidas y metamórficas. Se presentan cuarcitas de color blanco intralaminadas en la sucesión volcánica, además hay presencia de formación de hierro (iron formation), lutitas y calizas en la parte superior. El grado de metamorfismo aumenta desde esquistos verde en el norte a anfibolitas hacia el sur (MILLER, 2008).

**Fm. West End:** BECKER (2006), durante el mapeo detallado realizado durante los años 2000-2006 a través del Servicio Geológico de Namibia, definió una nueva subdivisión de la formación West End. Según esta nueva división, la Fm. West End contiene los miembros inferiores Ombonde y Eendrag y el miembro superior suprayacente Bruno. Según WILSKY (2010) los miembros inferiores de Fm. West End (Ombonde and Eendrag) son dominados por sedimentos clásticos que muestran gradación de los clastos o fragmentos desde la base hacia la parte superior que son más finos (las unidades basales son conglomerados transformándose en areniscas de

grano fino). La porción superior representada por esquistos, tobas y basaltos intercalados. La aparición brusca de porfidos de cuarzo-feldespatos marca la transición al miembro Bruno que es predominantemente volcánica caracterizado por porfidos cuarzo-feldespáticos, potásicos y riolitas. Los miembros Ombonde y Eendrag son intruidos por granitos de la serie Fransfontein y se han observado xenolitos en varias locaciones (WILSKY 2010).

**Fm. Otjovazandu (Fm. Otjivasandu):** Según WILSKY (2010), esta formación está dominada por unidades metasedimentarias, principalmente metaconglomerados, ortocuarcitas, metacarbonatadas y rocas volcánicas que yacen disconformemente sobre la Fm. West End. La parte más inferior de la formación Otjovazandu está compuesta por metaconglomerados seguidos por cuarcitas las cuales a su vez son cubiertas por rocas volcánicas ácidas o sucesiones de lutitas, limolitas, pizarras y pedernal (chert) (MILLER 2008). Dentro de estas sucesiones, se observó intercalaciones de las mismas rocas volcánicas ácidas supra yacentes como en las cuarcitas basales (MILLER 2008). Una formación de pedernal (chert) con hierro sobreyace estas últimas unidades y es seguida por dolomitas y calizas relativamente gruesas (MILLER 2008).

#### 1.10.2 La Serie Granítica Fransfontein

CLIFFORD et al (1962, 1969), FRETTS (1969), PORADA (1974), BURGER et al (1976), MUVANGUA (2006), MILLER (2008) y WILSKY (2010) han descrito los granitoides de la serie granítica Fransfontein como intrusivos en el grupo Khoabendus y el complejo metamórfico Huab. Según MILLER (2008) la composición de estos granitoides es alcalina y calco-alcalina. CLIFFORD et al. (1962, 1969) señaló que estas rocas son normalmente rosadas y grises, con granos gruesos a porfíricos, meteorizadas a un color rosado. PORADA (1974) apuntó que los granitos de esta serie son rojos porfíricos y diferenció entre los granitos sub-volcánicos Kaross y los granitos equigranulares de granos gruesos a porfíricos Kamdescha.

**Granitos Kaross:** WILSKY (2010) los clasifica como alcalinos. Según PORADA (1974), estos granitos son normalmente rojo a rojo verduzco en color. MILLER (2008)

describe que estas rocas son de granos finos, gruesos o porfíricos con fenocristales de feldespatos que llegan a 15mm de longitud y son frecuentemente colisionados. En adición se observa una textura granofírica y la matriz consiste en cuarzo, microclina, pertitas, plagioclasas, cantidades menores de biotita y moscovita, clorita y menas opacas como accesorios. La composición de las plagioclasas se extiende de albita a oligoclasa y frecuentemente contiene múltiples inclusiones de cuarzo, albita y moscovita (PORADA 1974).

**Granitos Kamdescha:** Estas rocas forman intrusiones en las rocas del complejo metamórfico Huab (este complejo está fuera del área de estudio) y ambas formaciones del grupo Khoabendus. Debido al metamorfismo de contacto con las rocas del grupo Khoabendus, la cuarcita se puso vidriosa y astiloso; el mármol es de grano más grueso y tiene contenido elevado de sílice; tobas andesíticas con baja compactación y algo astillosas o han recrystalizado a granos más gruesos. Existen muchos xenolitos de rocas del grupo Khoabendus en los granitos. Los equigranos de microclina peritíticas llegan a una longitud de 4cm, textura rapakivi, rodeados por cristales euhedrales de plagioclasas (albita-oligoclasa) saussuritizadas. El único mineral máfico en estos granitos es biotita (MILLER 2008).

# **CAPÍTULO II**

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y VOLUMENES DE LOS TRABAJOS**

### **2.1 Introducción**

### **2.2 Etapa preliminar**

### **2.3 Etapa de campo**

### **2.4 Etapa de laboratorio**

#### **2.4.1 Análisis petrográfico**

#### **2.4.2 Analisis químico (fluorencia de rayos-X)**

### **2.5 Trabajo de gabinete**

### **2.1 Introducción**

Este trabajo con título ***Caracterización petrográfica de las unidades litológicas del grupo Khoabendus y la serie granítica Fransfontein en el sector 1914CB Kamanjab al noroeste de Kamanjab, Namibia***, se realizó siguiendo la metodología ilustrada en la figura 2.1. Esta metodología parte de la recopilación bibliográfica a partir de la búsqueda de materiales y datos de trabajos ejecutados en la región y el área de estudio, describiéndose el procedimiento utilizado en el procesamiento de las bases de datos, así como en las características petrográficas generales de las rocas que componen las unidades litológicas del grupo Khoabendus y la serie granítica Fransfontein. Se dividió el trabajo en cuatro etapas fundamentales:

- **Etapas I: Preliminar**
- **Etapas II: Trabajo de campo**
- **Etapas III: Trabajo de laboratorio**
- **Etapas IV: Trabajo de gabinete**

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos se trazaron varias tareas las cuales fueron cumplidas satisfactoriamente. A continuación, se describen las cuatro etapas de este trabajo.

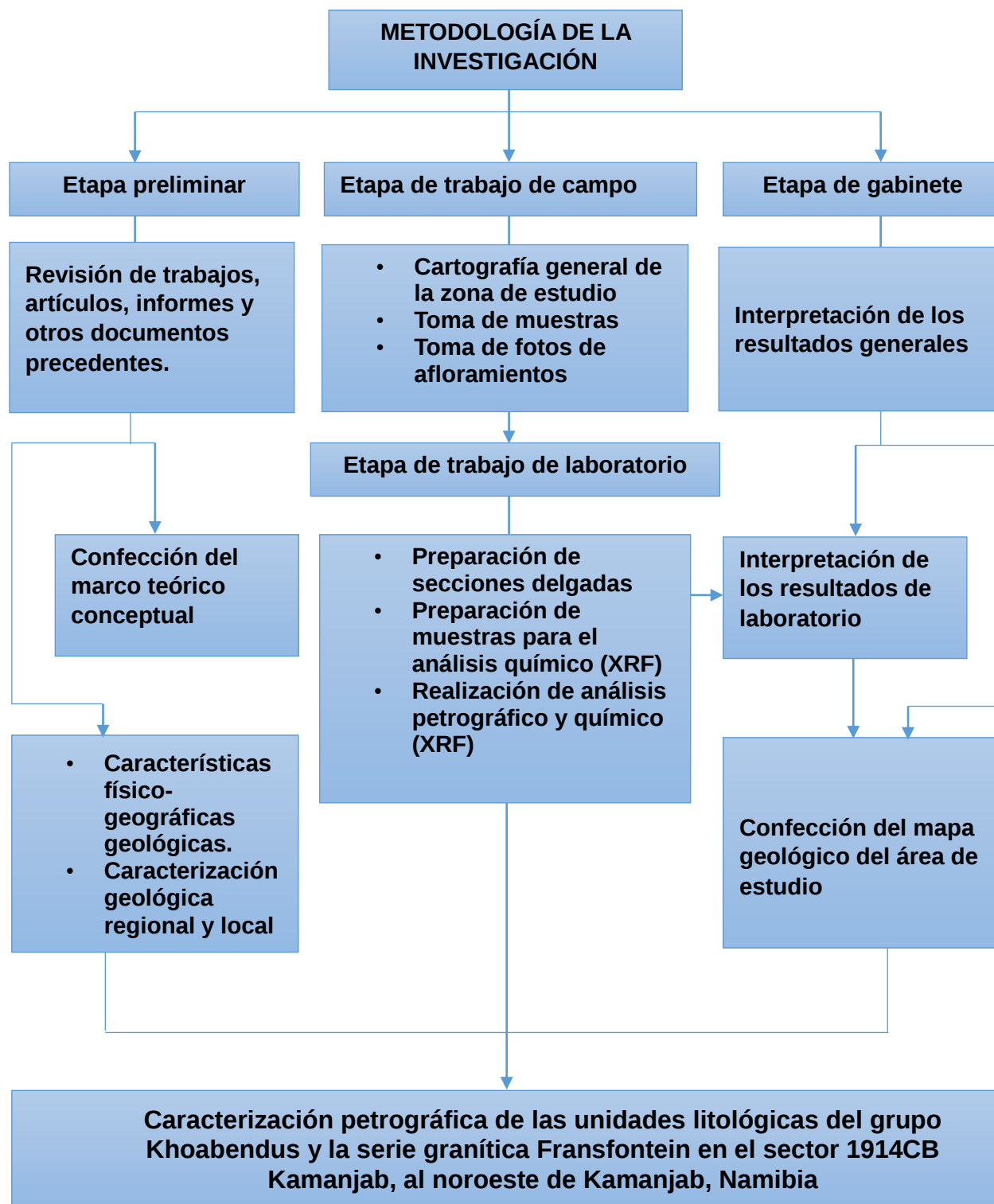


Figura 2.1: Organigrama que resume la metodología de la investigación.

## **2.2 Etapa Preliminar**

Durante esta primera etapa de la investigación, se hizo una búsqueda de información bibliográfica, a través de la revisión de una serie de artículos científicos, trabajos de diploma, revistas y otros documentos relacionados con la temática a tratar. Se utilizó la biblioteca central del Ministerio de Minería y Energía de Namibia, información y mapas digitales desde la base de datos del Servicio Geológico de Namibia (GSN). En adición, se utilizó la base de datos con que cuenta el Centro de Información del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM), así como información suministrada por el fondo geológico del ISMMM y sitios web de la INTERNET especializados en el tema. Luego de haber desarrollado la búsqueda bibliográfica de dicha información, se comenzó a procesar e interpretar los datos obtenidos previamente para posteriormente ser llevados a formato digital como parte de la memoria escrita del trabajo y también como documentos gráficos incluidos.

## **2.3 Etapa de Trabajo de campo**

El trabajo de campo se desarrolló en una campaña de campo que duró 11 días entre las fechas del 23 de julio hasta el 3 de agosto del 2012. El objetivo fue observar y describir los afloramientos, coleccionar muestras y toma de fotos para posteriormente realizar un mapa geológico donde se representen las características geológicas a una escala de 1:30 000. Se utilizó la hoja 1914CB Kamanjab del mapa topográfico nacional de escala 1:250 000 como mapa de base para la orientación en el campo. Se utilizó un GPS Garmin y una brújula para la locación. Se realizaron mediciones de elementos estructurales tales como buzamiento y dirección de buzamiento (para afloramientos con superficie plana) y foliación.



Figura 2.2: Establecimiento del sitio de campamento para comenzar el trabajo de campo  
Se realizaron inicialmente cuatro perfiles con dirección NW (ver Figura 2.3). Luego se fueron localizando zonas de máximo interés por ejemplo zonas de contactos litológicos. Los resultados de las observaciones durante esta etapa de trabajo del campo que incluye la confección del mapa geológico del área y la descripción de las litologías se presentan en los anexos 1 y 3, respectivamente.

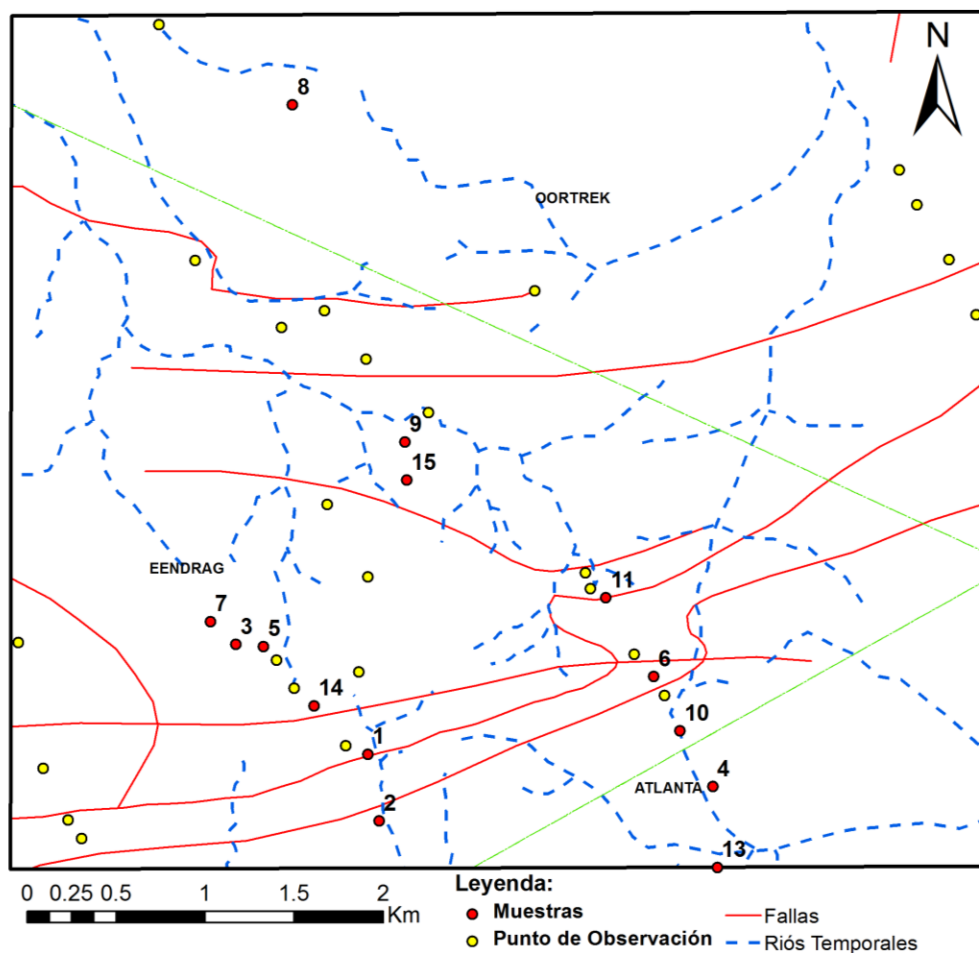


Figura 2.3: Perfiles, puntos de observación y ubicación de muestras

## 2.4 Etapa de laboratorio

### 2.4.1 Analisis Petrográfico

Las muestras destinadas para las secciones delgadas fueron preparadas según los procedimientos internos del laboratorio del Servicio Geológico de Namibia y posteriormente fueron enviadas a Cuba y estudiadas por el diplomante el cual utilizó un microscopio óptico polarizante modelo NP-400B marca NOVEL disponible en el laboratorio de Petrología del Instituto Minero Metalurgico de Moa (ISMMM). Se preparó el microscopio para observaciones ortoscópicas, utilizando tanto nicols cruzados como paralelos, objetivo 10X, foco 17,13 mm, a una distancia de trabajo aproximada de 7,316 mm, se determinaron los parámetros ópticos, como: color, pleocroísmo, relieve, forma, índice de refracción, colores de interferencia y ángulo de extinción. Además de

los parámetros ópticos anteriormente mencionados se cuantificaron los porcentajes volumétricos de los minerales presentes en las secciones delgadas utilizando el método de Diagrama de porcentaje y fueron determinados: el tamaño de los minerales, los principales tipos de texturas presentes en las rocas para lo cual las descripciones fueron apoyadas con el uso de bibliografías tales como: Mineralogía Óptica de Paul F. Kerr, Atlas De Asociaciones Minerales En Láminas Delgada de Joan Charles Melgarejo, Metamorphic Texture de A. Spray, Petrografía Microscópica de Heinrich, entre otras.

Las microfotografías fueron tomadas por medio de la inserción al microscopio de la cámara fotográfica digital, modelo Power Shot A360, de 8.0 megapíxel con zoom óptico de aproximación 4x, con ocular especial diseñado para cámaras Canon de 52 mm y de la video-cámara digital, modelo MDCE-5A con cable USB 2.0



Figura 2.4: Microscopio de luz polarizada modelo NP-400B, marca NOVEL.

### 2.4.2 Analisis químico (fluorencia de rayos-X)

Se trituraron las muestras en dos fases: 1) en la máquina trituradora hasta una granulometría de  $<2\text{mm}$  (ver Figura 2.5) y 2) en la maquina pulverizadora hasta una granulometría de  $<0.07\text{mm}$ .

El método de fluorencia de rayos-X consiste en hacer incidir un haz de rayos-X con energía suficiente para excitar los diferentes elementos que componen la muestra. Los átomos excitados al pasar al estado normal emiten radiaciones X, cuya longitud de onda va a ser característica de cada elemento, y la intensidad de su fluorescencia es proporcional al contenido de dicho elemento en la muestra. El espectrómetro es capaz de separar las diferentes longitudes de onda y determinar su intensidad. Mediante la resolución de un sistema de ecuaciones se calcularon los contenidos de los diferentes elementos, a través de la correspondencia con una serie de muestras patrones con las que se calibra el equipo. Se determinaron los siguientes elementos: Si, Fe, Al, Ca, Mg, K, Ti, Mn, Cr, V, S, Ba, Cu, Sr, Zr, As, Zn y Ni.



Figura 2.5: Trituración de las muestras

## **2.5 Trabajo de gabinete**

Durante esta etapa se procesó toda la información primaria obtenida de las etapas anteriores e información adicional brindada desde el Servicio Geológico de Namibia. Se realizó la digitalización de los datos para confeccionar los mapas y se hicieron cálculos de conversión de porcentos de elementos mayores a los porcentos de los óxidos de los mismos, obtenidos en el análisis químico. Se emplearon los siguientes Software en esta etapa: los componentes ArcMap y ArcView de programa del ArcGIS para la digitalización, edición y confección de los mapas; Quantum GIS para la digitalización adicional y topológico de los mapas; Excel y PowerPoint para generar las tablas y gráficos.

# **CAPÍTULO III**

## **CAPÍTULO III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

### **3.1 Introducción**

### **3.2 Litología y Petrografía**

#### **3.2.1 Grupo Khoabendus (rocas vulcano sedimentarias y metamórficas)**

##### **3.2.1.1 Formación Otjovazandu**

##### **3.2.1.1 Formación West End**

#### **3.2.2 Serie granítica Fransfontein (rocas graníticas)**

### **3.3 Interpretación de los análisis de fluorescencia rayos-X**

### **3.5 Consideraciones finales**

### **Conclusiones**

### **Recomendaciones**

### **Bibliografía**

### **Anexos**

### **3.1 Introducción**

En este capítulo se presenta las principales características petrográficas de las unidades litológicas del grupo Khoabendus (Fm. Otjovazandu y Fm. West End) y la serie granítica Fransfontein en el sector 1914CB Kamanjab al noroeste de Kamanjab. La descripción se basa en el análisis petrográfico de 14 muestras colectadas para este trabajo. También se presentan las muestras macroscópicas para demostrar la estructura y color de la roca, y se clasifican las arenitas y granitoides, utilizando diagramas de clasificación de Pettijohn et al. (1987) y Streckeisen (1976), respectivamente.

La simbología utilizada en las microfotografías es la siguiente:

|                  |                 |                  |               |
|------------------|-----------------|------------------|---------------|
| Qz – Cuarzo      | Mgt – Magnetita | Sc – Sericita    | Bi – Biotita  |
| Car – Carbonato  | Ru – Rutilo     | Mu – Muscovita   | Cl – Clorita  |
| Mic – Microclina | Zc – Circón     | Cld - Calcedonia | Cal – Calcita |
| Esf – Esfena     | Gr – Grafito    |                  |               |

## 3.2 Litología y Petrografía

### 3.2.1 Grupo Khoabendus

#### 3.2.1.1 Formación Otjovazandu

*Filitas, cuarciarenitas, calizas y mármol*

Muestra: 9

Coordenadas: 14.3725E; 19.6084S

Nombre de la roca: Filita

Estructura: Esquistosa (fina)

Color: Pardo rojizo

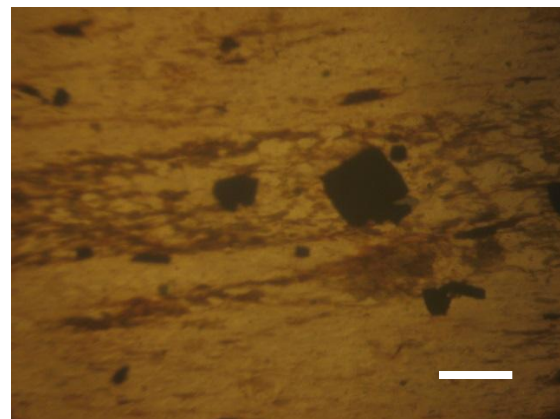
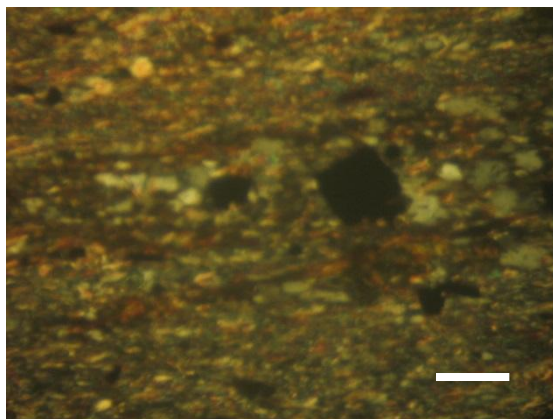
Textura: microlepidogranoblástica

Composición general: sericita + cuarzo + mena metálico

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 57.01, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 8.06, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 24.51, CaO: 0.38, MgO: 0.00, K<sub>2</sub>O: 6.05, TiO<sub>2</sub>: 0.80

#### DESCRIPCION DE DETALLE.

La roca está representada por bandas de sericita hasta el azul de I orden alternando con bandas de cuarzo de granulometría fina con lineación. La sericita escamosa en escamas muy finas mientras que el cuarzo se encuentra en cristales de tamaño fino (0.01mm). Se encuentra abundante mena metálica de forma cúbica y agregados irregulares siguiendo también la lineación de la roca. La roca en general está teñida de óxido de hierro. Probable protorito es de composición pelítica a cuarzosa.





Muestra: 7

Coordenadas: 14.3620E; 19.6175S

Nombre de la roca: Cuarciarenita

Estructura: Masiva

Color: blanco rojizo

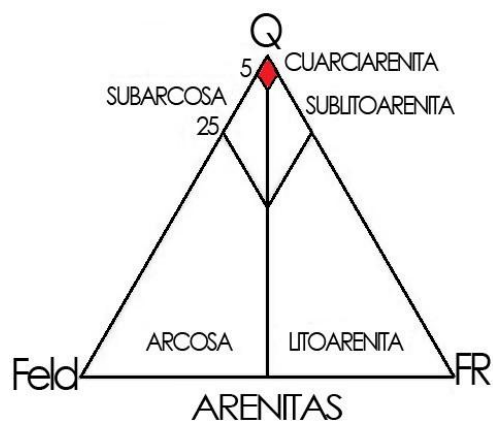
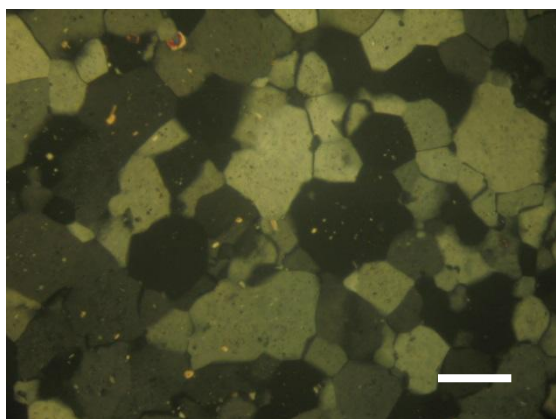
Textura: Psamítica o arenácea

Composición general: cuarzo, mena metálica

Composición química (%):  $\text{SiO}_2$ : 100.35,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 0.67,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 1.42,  $\text{CaO}$ : 0.54,  $\text{MgO}$ : 0.00,  $\text{K}_2\text{O}$ : 0.31,  $\text{TiO}_2$ : 0.05

#### DESCRIPCION DE DETALLE.

En la sección se observa cuarzo (97% del volumen total de la roca) formando un mosaico cristalino con cemento silíceo. Los clastos de cuarzo tienen diferentes formas: redondeados a sub-redondeados y en menor proporción angulosos. El tamaño de los clastos es fino 0.01-0.02mm. Se presentan además cristales irregulares de carbonato pero en escasa cantidad al igual que diminutas escamas de sericita. Se observa mena metálica representada por un cristal de alto relieve, birrefringencia elevada como mineral accesorio y contenido menor del 1%.



Muestra: 15

Nombre de la roca: Metacuarcarenita

Color: Pardo oscuro

Coordenadas: 14.3726E; 19.6103S

Estructura: Masiva sin foliación

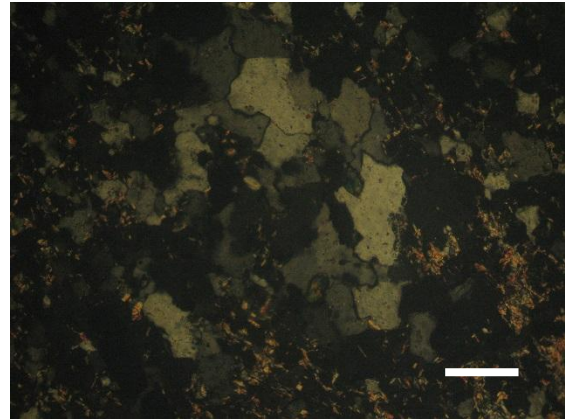
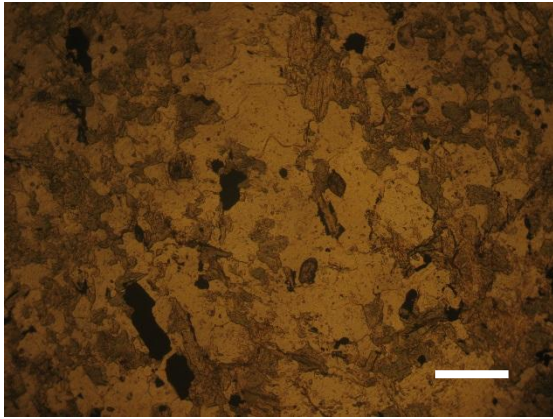
Textura: Psamítica o arenácea relíctica  
con material clorítico

Composición general: cuarzo, clorita, sericita, mena metálica + circón

Composición química (%):  $\text{SiO}_2$ : 54.87,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 21.67,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 12.42,  $\text{CaO}$ : 0.81,  $\text{MgO}$ : 0.00,  $\text{K}_2\text{O}$ : 1.06,  $\text{TiO}_2$ : 2.14.

#### DESCRIPCION DE DETALLE.

La muestra está representada por granos de cuarzo de formas irregulares distribuidos en una masa de composición clorítica. Se observan además pequeñas escamas de sericita y cristales irregulares de mena metálica. Están presentes pequeños cristales de circón como accesorio. La roca parece haber sufrido un metamorfismo de bajo grado por la cantidad de clorita que se observa en la sección delgada por lo que se denomina metacuarcarenita, posible protolito cuarcita.



Muestra: 3

Coordenadas: 14.3634E; 19.6186S

Nombre de la roca: Caliza (Esparita según Folk (1962))

Estructura: Masiva

Color: Rosado parduzco

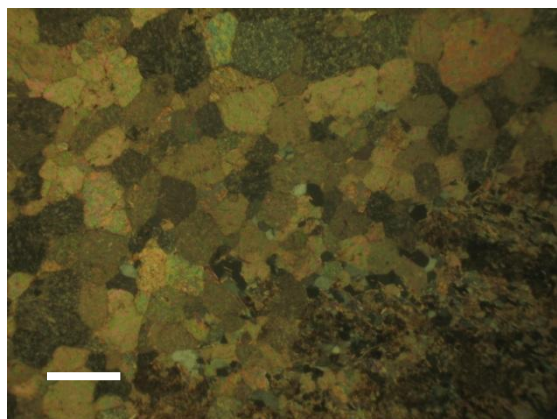
Textura: Cristalina

Composición general: carbonato (calcita), cuarzo, sericita, muscovita, mena.

Composición química (%):  $\text{SiO}_2$ : 22.10,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 2.82,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 3.04,  $\text{CaO}$ : 31.93,  $\text{MgO}$ : 6.91,  $\text{K}_2\text{O}$ : 0.46,  $\text{TiO}_2$ : 0.13.

#### DESCRIPCION DE DETALLE.

La roca está teñida de óxido de hierro. Está constituida fundamentalmente por carbonato (calcita) formando granos irregulares en ocasiones en agregados, este mineral constituye aproximadamente el 90% del volumen total de la roca. En ocasiones se encuentra recrystalizada presentando maclas polisintéticas. Junto con el carbonato se encuentran pequeños cristales de cuarzo, sericita de forma escamosa y muscovita en cristales prismáticos pequeños. Se observa además mena metálica, magnetita en cristales irregulares como mineral accesorio.



Muestra: 14

Coordenadas: 14.3675E; 19.6218S

Nombre de la roca: Mármol

Estructura: Masiva

Color: Rosado

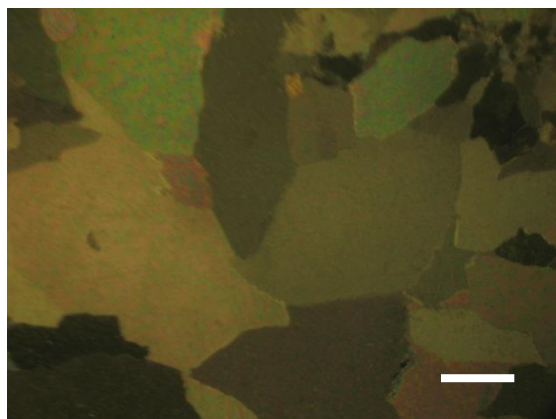
Textura: Granoblástica

Composición general: Calcita + cuarzo + mica muscovita  $\pm$  sericita

Composición química (%):  $\text{SiO}_2$ : 9.35,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 4.92,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 0.79,  $\text{CaO}$ : 25.24,  $\text{MgO}$ : 18.02,  $\text{K}_2\text{O}$ : 0.00,  $\text{TiO}_2$ : 0.07.

#### DESCRIPCION DE DETALLE.

En la sección se observan cristales de calcita con maclas polisintéticas formando un mosaico y cristales con más o menos de igual forma y tamaño (de hasta 1mm) acompañados de cuarzo y mica muscovita. El cuarzo en cantidades subordinadas y hasta un 2% de la roca se encuentra diseminado y también en vetas. La mica muscovita en cristales prismáticos pequeños alta birrefringencia y extinción recta con disposición heterogénea en la sección delgada. La roca en parte esta recrystalizada (ver foto de sección delgada) donde se observan grandes cristales de carbonato con textura granoblástica. La calcita abarca alrededor del 90% de la roca. Posible protolito: roca carbonatada



Muestra: 5

Coordenadas: 14.3648E; 19.6187S

Nombre de la roca: Caliza micrítica en parte grafítica?

Estructura: Masiva

Color: Negro

Textura: criptocristalina

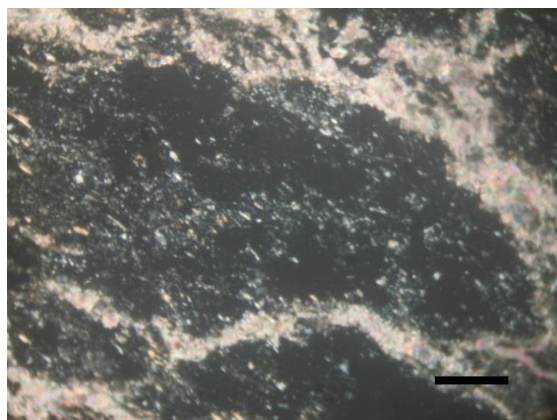
Composición general: mena metálica, carbonato, cuarzo

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 37.31, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0.56, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 6.29, CaO: 18.15, MgO: 12.73, K<sub>2</sub>O: 3.69, TiO<sub>2</sub>: 0.52.

#### DESCRIPCION DE DETALLE.

La roca está representada por un mineral negro tanto con nicoles paralelos como cruzados y se ha descrito grafito con duda. Rodeando los espacios vacíos de la mena se encuentra un agregado criptocristalino de carbonato (calcita) dando un aspecto a la

muestra como un enjambre (ver foto). Diseminados granos de cuarzo de granulometría fina acompañan al carbonato. Se observa un fragmento de roca carbonatada de forma alargada la cual también presenta la misma mena metálica.



### 3.1.1.2 Formación West End

*Cuarcitas, cuarciarenitas y esquistos cuarzosos*

Muestra: 11

Coordenadas: 14.3517E; 19.6185S

Nombre de la roca: Cuarcita sericítica

Estructura: masiva, bandas estrechas de mena metálica

Color: Pardo claro con bandas negras

Textura: Granoblástica

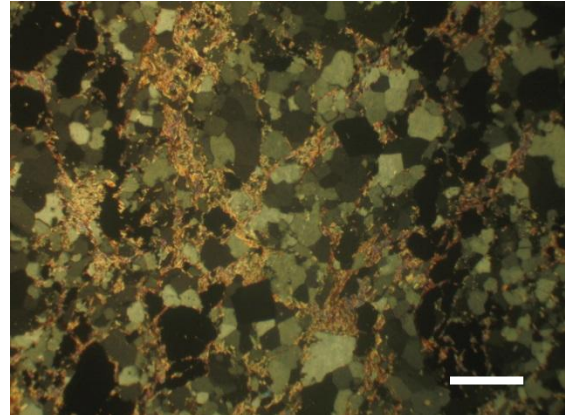
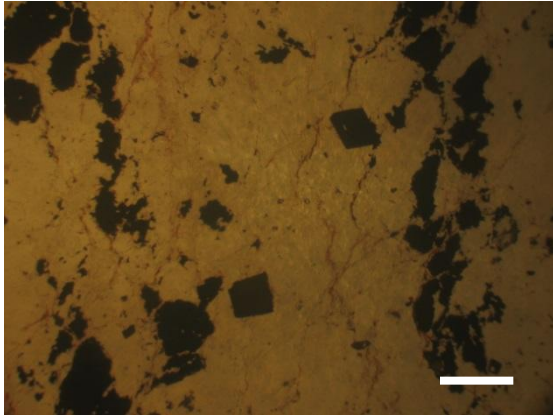
Composición general: cuarzo + sericita + magnetita

Composición química (%):  $\text{SiO}_2$ : 83.54,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 10.51,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 8.62,  $\text{CaO}$ : 0.31,  $\text{MgO}$ : 0.00,  $\text{K}_2\text{O}$ : 2.29,  $\text{TiO}_2$ : 1.30.

DESCRIPCION DE DETALLE.

Roca representada por abundancia de cuarzo y sericita. Se observan grandes cristales de cuarzo con zonación (extinción zonal). El cuarzo constituye aproximadamente el 75-80% de la roca y se presenta en cristales irregulares en ocasiones alargados. El tamaño de los granos de cuarzo varía entre fino a gruesos (0.8-1mm). La mena metálica magnetita en cristales cúbicos e irregulares (ver foto con nicoles paralelos) y forman bandas estrechas en la roca. La roca parece ser una roca metamorfizada, no

presenta lineación de los minerales aunque sí de la mena, indicando un origen posterior de esta última. La roca en parte está teñida de óxido de hierro el cual se presenta en pequeñas escamas diminutas. El posible protolito es una cuarciarenita u ortocuarcita.



Muestra: 10

Coordenadas: 14.3871E 19.6231S

Nombre de la roca: Mena (Magnetita)

Estructura: Masiva

Color: Negro, magnética

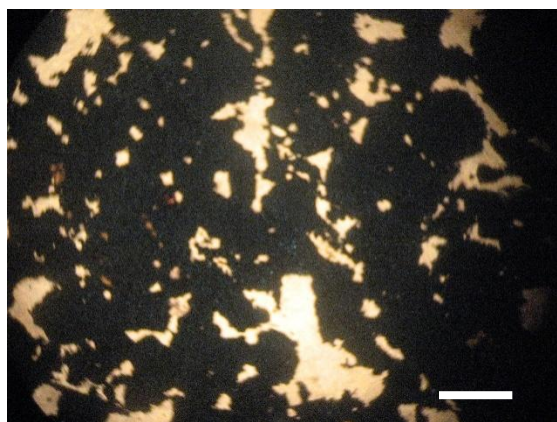
Textura: -

Composición general: magnetita, cuarzo, sericita, esfena, epidota

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 26.16, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 73.72, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 14.04, CaO: 0.50, MgO: 0.00, K<sub>2</sub>O: 2.25, TiO<sub>2</sub>: 6.32

#### DESCRIPCION DE DETALLE.

La sección delgada está representada por cristales octaédricos, cúbicos e irregulares de magnetita. En los poros o huecos entre la magnetita se observa sericita haciendo el papel como de un material cementante. Además de estos minerales se observan clastos de cuarzo y en menor proporción epidota y esfena. La magnetita alcanza más del 85% de la muestra. Al incidir sobre la sección delgada luz reflejada se observó el brillo metálico de la mena.



Muestra: 1

Coordenadas: 14.3704E; 19.6242S

Nombre de la roca: Cuarciarenita

Estructura: Masiva

Color: Gris blancuzco

Textura: Psamítica o arenácea

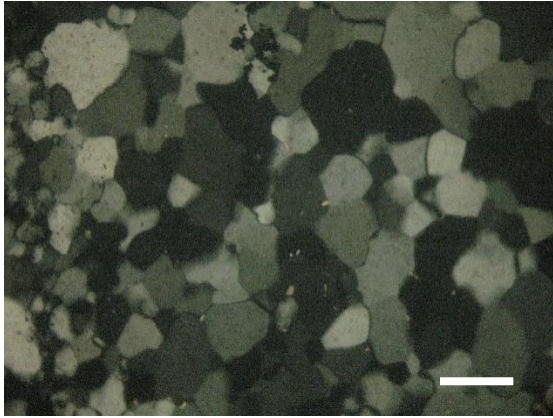
Composición general: cuarzo, calcedonia, mena metálica, carbonato.

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 97.61, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0.90, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0.77, CaO: 0.36, MgO: 0.00, K<sub>2</sub>O: 0.08, TiO<sub>2</sub>: 0.03.

#### DESCRIPCION DE DETALLE.

Roca constituida por más de 90% de cuarzo, con granulometría fina (<1mm), junto con el cuarzo se observa un agregado criptocristalino al parecer de calcedonia (de granulometría extremadamente fina). Los clastos de cuarzo están bien trabajados con un cemento de composición silíceo. El agregado fino de calcedonia constituye bandas

en la roca indicando como una pseudo estratificación. Se observa mena metálica como accesoria. La estructura de la roca es psamítica o arenácea.



No Muestra: 2

Coordenadas: 14.3710E; 19.6276S

Nombre de la roca: Esquisto cuarzo-sericítico Estructura: Esquistosa, grosera

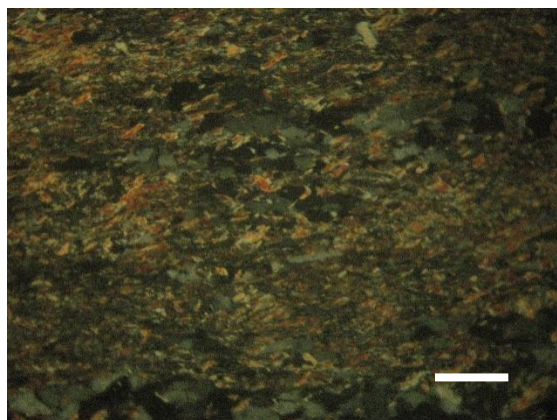
Color: Grisáceo, teñida de óxido de hierro Textura: Granolepidoblástica

Composición general: cuarzo + sericita

Composición química (%):  $\text{SiO}_2$ : 65.82,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 2.82,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 19.73,  $\text{CaO}$ : 0.67,  $\text{MgO}$ : 0.00,  $\text{K}_2\text{O}$ : 0.43,  $\text{TiO}_2$ : 0.55.

DESCRIPCION DE DETALLE.

Roca metamórfica representada por abundante cuarzo y láminas finas de sericita, las cuales constituyen los minerales principales de la sección delgada. Se observan bandas de cuarzo de granulometría fina y bandas escamosas de sericita con birrefringencia de hasta azul de I orden. En el contacto de las bandas de sericita y cuarzo se observan hilos de mena metálica. Aparecen diseminados en la roca pequeños cristales de mena metálica (magnetita). El protolito posible de esta roca es cuarzo-feldespático.



Muestra: 4

Coordenadas: 14.3889E; 19.6259S

Nombre de la roca: Esquisto cuarzo-sericítico Estructura: Groseramente esquistosa

Color: Blanco grisáceo

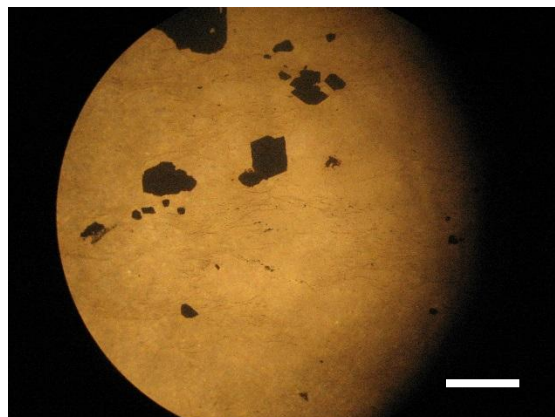
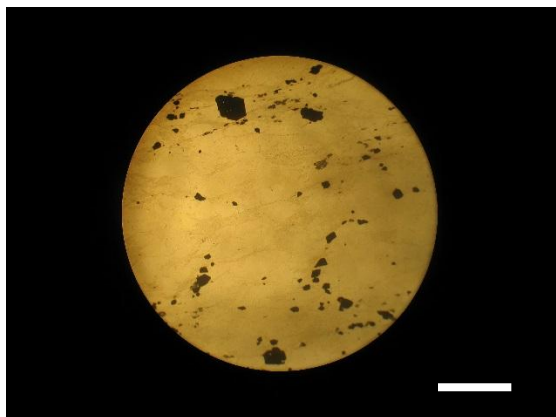
Textura: Granolepidoblástica

Composición general: cuarzo + sericita + magnetita

Composición química (%):  $\text{SiO}_2$ : 86.85,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 2.20,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 7.05,  $\text{CaO}$ : 0.35,  $\text{MgO}$ : 0.00,  $\text{K}_2\text{O}$ : 2.20,  $\text{TiO}_2$ : 0.38.

#### DESCRIPCION DE DETALLE.

La sección delgada está representada por bandas de cuarzo y bandas de minerales escamosos (sericita). Se observa abundante mena metálica (magnetita) en cristales cúbicos e irregulares (ver fotos). La mena metálica alcanza aproximadamente el 5% de la roca por lo que se pudiera añadir al nombre magnetítico a la roca. Se observa además escasos cristales de feldespatos potásicos sin maclado. El protolito de esta roca al parecer es una cuarciarenita o subarcosa.



Muestra: 6

Coordenadas: 14.3857E; 19.6203S

Nombre de la roca: Esquisto clorítico-calcareo epidótico Estructura: foliación grosera

Color: Verde oscuro

Textura: Lepidoblástica

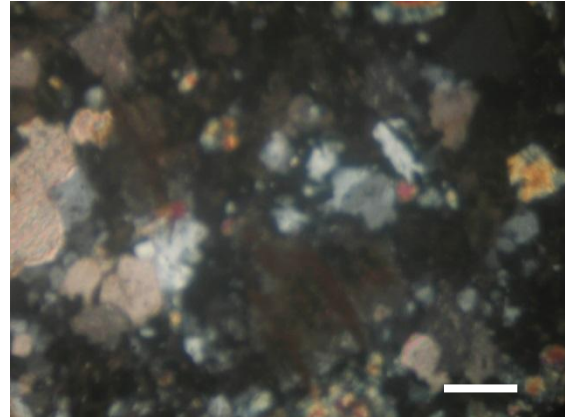
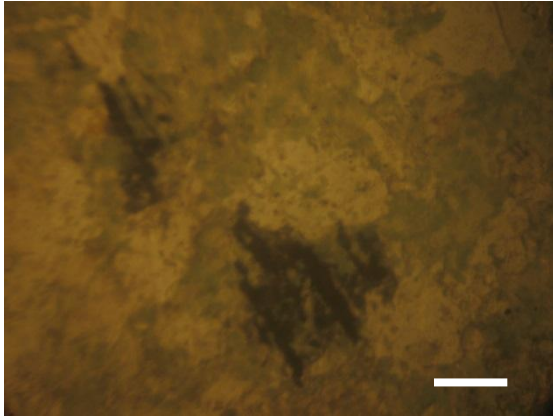
Composición general: clorita + carbonato + epidota + cuarzo + plagioclasas

Composición química (%):  $\text{SiO}_2$ : 37.41,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 16.48,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 12.47,  $\text{CaO}$ : 8.44,  $\text{MgO}$ : 10.01,  $\text{K}_2\text{O}$ : 0.00,  $\text{TiO}_2$ : 1.57

#### DESCRIPCION DE DETALLE.

La roca está constituida por una masa escamosa de clorita de color verde la cual constituye el mayor por ciento de la roca (80%), se subordina el carbonato en cristales irregulares distribuidos sin lineación en la roca constituyendo alrededor del 15%. La epidota en agregados pequeños, irregulares, alta birrefringencia. Las plagioclasas se

encuentran en poca cantidad formando prismas alargados, el cuarzo en pequeños cristales diseminados en la roca. Se observa mena metálica como mineral accesorio de color rojizo pardo, alto relieve en formas de agregados esqueléticos (rutilo?). Posible protolito roca básica o máfica.



### 3.2.2 Serie granítica Fransfontein

*Granitos biotíticos (Kaross) y granodioritas biotíticas (Kamdescha)*

Muestra: 8

Coordenadas: 14.3666E; 19.5914S

Nombre de la roca: Granito biotítico

Estructura: Porfírica

Color: Rosado parduzco

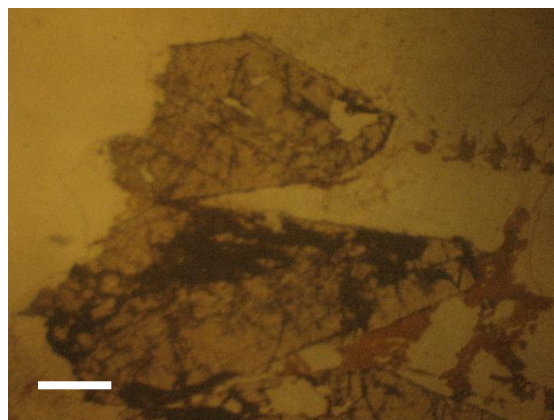
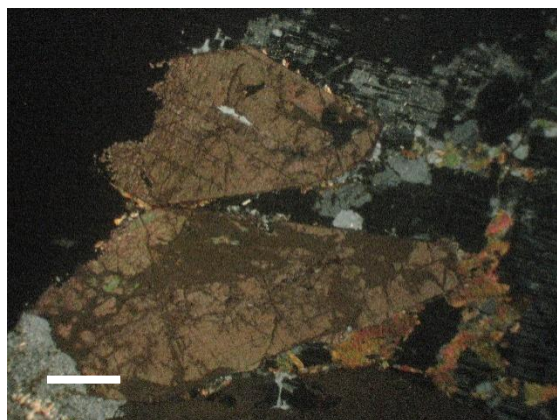
Textura: Alotriomorfica en parte hipidiomorfica

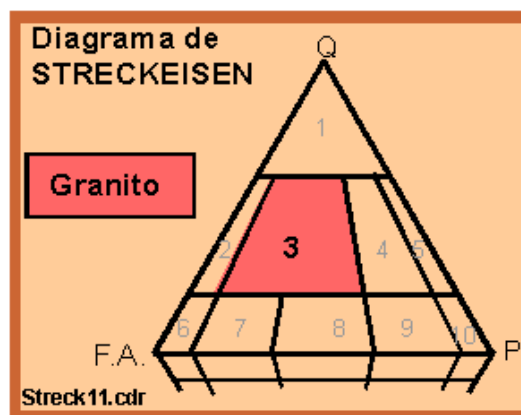
Composición general: feldespato potásico, cuarzo, plagioclasas (sericitizadas), biotita, esfena, mena metálica.

Composición química (%):  $\text{SiO}_2$ : 77.65,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 3.77,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 12.38,  $\text{CaO}$ : 1.35,  $\text{MgO}$ : 0.00,  $\text{K}_2\text{O}$ : 4.42,  $\text{TiO}_2$ : 0.65.

#### DESCRIPCION DE DETALLE.

Cristales alotriomorficos de microclina con maclado de forma en red o rejilla (ver foto). En ocasiones presentan inclusiones de cuarzo y biotita dando una textura poiqlítica. El tamaño de los cristales de microclina alcanza hasta 1mm. La microclina ocupa el 50% del volumen total de la roca. El cuarzo de forma también irregular o alotriomorfo con superficie fresca, limpia, blanco gris de 1er orden, en cristales grandes de hasta 1.5mm y constituye alrededor de 35%. Las plagioclasas de forma prismática están totalmente sericitizadas observándose en raras ocasiones su maclado polisintético característico y representa alrededor del 5-8%. La biotita (5%) en cristales tabulares y prismáticos en ocasiones cloritizadas, a veces en inclusiones en la microclina. La biotita presenta inclusiones de mena metálica. La esfena como mineral accesorio en grandes cristales en forma lenticular, a veces rotos, fracturados y su tamaño alcanza hasta 1mm y más (1.5%). Se observa además en la roca mena metálica (magnetita) en 1%.





Muestra: 13

Coordenadas: 14.3892E; 19.6300S

Nombre de la roca: Granodiorita bitotítica

Estructura: porfírica

Color: Blanco con tonalidad rosada

Textura: Hipidiomorfa en parte porfírica

Composición general: microclina, cuarzo, plagioclasas, biotita, mena metálica, circón, clinozoicita, epidota, leucóxeno?

Composición química (%):  $\text{SiO}_2$ : 74.44,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 3.76,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 15.40,  $\text{CaO}$ : 1.38,  $\text{MgO}$ : 0.00,  $\text{K}_2\text{O}$  5.31,  $\text{TiO}_2$ : 0.57

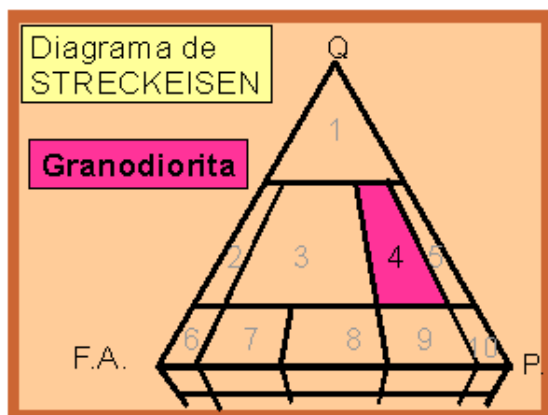
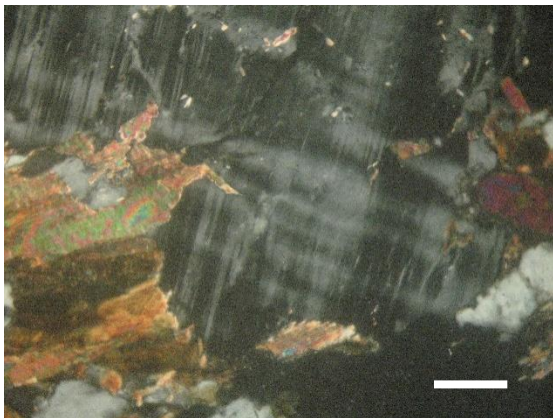
#### DESCRIPCION DE DETALLE.

En la sección se observan cristales alotriomorficos e hipidiomorficos de microclina a veces con maclado en red o rejilla, otra veces esta intercrecido con cuarzo formando mirmequita. El tamaño de los granos es de fino a medio 0.5-0.9mm. La microclina alcanza el 35%. El cuarzo en forma de agregados rodeando o en el contacto de los feldespatos, rara veces en cristales individuales dando un aspecto porfírico a la roca, a veces con estructura zonal. El cuarzo alcanza el 20% de la roca.

Las plagioclasas de forma alargada, hipidiomofica, en ocasiones completamente sericitizadas, en otras se observan sus maclados característicos, midiendo su máximo ángulo de extinción ( $15^\circ$ ) se determinó que es albita, utilizando la curva de los ángulos de máxima extinción de las maclas de la albita (según Michael-Levy en KERR, 1984 pág 232). Las plagioclasas constituye en alrededor del 25%.

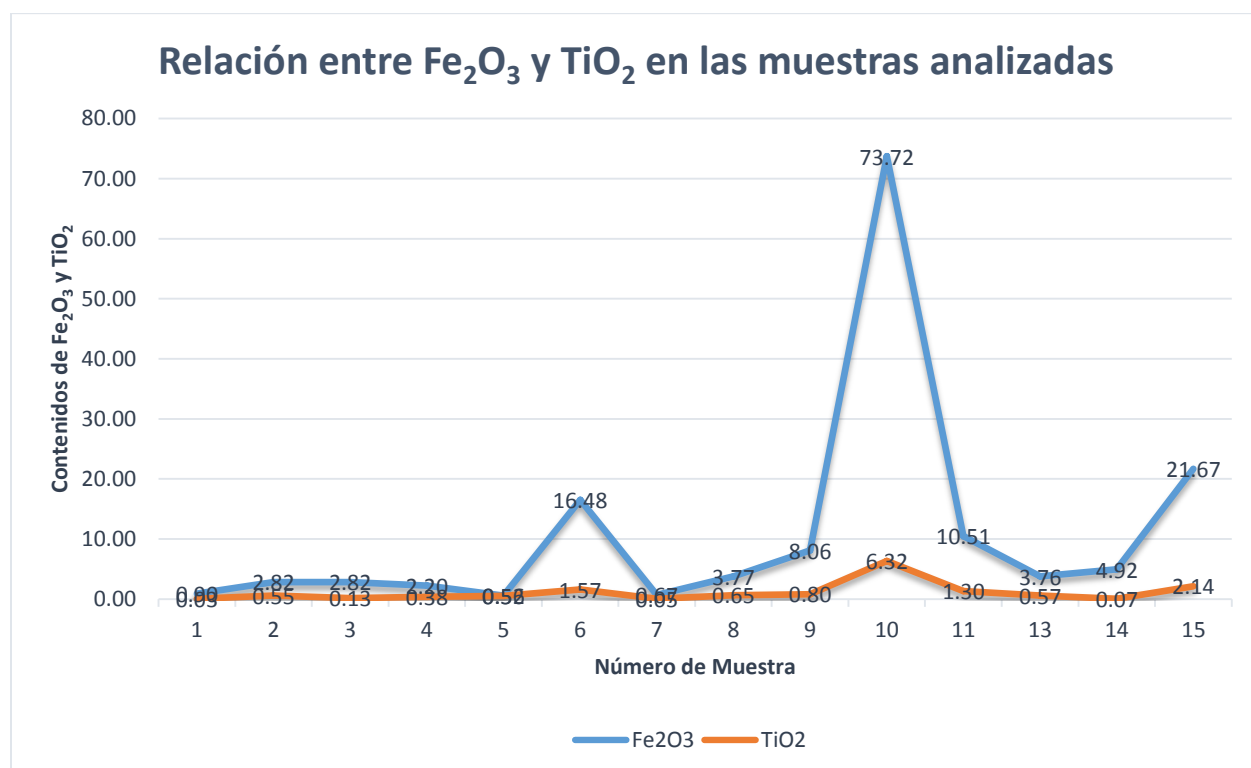
La mica biotita con su color pardo característico, birrefringencia alta, relieve alto en cristales prismáticos casi aciculares. La distribución de la biotita a veces es siguiendo una orientación preferencial (ver Figura 3.38) y alcanza un 10% de la roca.

La epidota y la clinozoicita formando agregados con alto relieve, birrefringencia elevada la primera mientras la segunda llega hasta el amarillo del segundo orden y alcanzan un 4% de la muestra. La mena metálica representada por magnetita en cristales perfectos, cúbicos a veces octaédricos y también en agregados y constituyen el 3%. El leucoxeno? disperso en la roca formando coronas alrededor de mena metálica.



### 3.3 Interpretación de los análisis de fluorescencia rayos-X

Por los análisis de fluorescencia de rayos-X realizados al total de 14 muestras, se obtuvieron los datos de porcentajes de elementos mayores presentes en las mismas (ver Anexo 2), a partir de los cuales se calcularon los óxidos (ONTARIO GEOLOGICAL SURVEY, 1989). La mayoría de las muestras analizadas presentan altos valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{TiO}_2$  que reflejan las menas observadas en las secciones delgadas. En el gráfico en la figura 3.41 se observa la correspondencia entre ambos óxidos lo cual es avalado por Manual de Mineralogía de Dana pág 297-298 (ver bibliografía) donde explica que el titanio es uno de los elementos que pueden sustituir al  $\text{Fe}^{3+}$ , formando como burbujas y láminas de desmezcla dentro de la magnetita. Los óxidos mayores  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  se corresponden sus valores con la composición mineralógica de las secciones analizadas.



**Figura 3.40.** Relación entre  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{TiO}_2$  en las muestras analizadas

### **3.4 Interpretación de las posibles génesis de las rocas descritas**

Las cuarciarenitas presentan laminación que indican que se formaron en un medio tranquilo de cuenca continental pues no se observa ningún rasgo de deposición en cuenca marina (como por ejemplo la presencia de carbonato o material cementante). Las rocas carbonatadas, en especial la esparita que está representada por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) es indicadora de un medio marino poco profundo que favoreció la precipitación del carbonato y posterior recristalización del mismo por acción fundamentalmente del oleaje. La micrita gráfita? indica condiciones de formación de aguas profundas, de condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno) de ahí la presencia de material gráfítico en esta roca.

## Conclusiones

1. Teniendo en cuenta los diferentes tipos de rocas descritas en el área, podemos concluir que están presentes intrusivos graníticos, rocas sedimentarias y rocas metamórficas, por los que estas litologías infieren a la región estudiada un interés perspectivo para estudios posteriores.
2. A partir de los análisis petrográficos que se realizaron y los resultados obtenidos del análisis químico de fluorescencia de rayos-X, se establece que las rocas del sector 1914CB Kamanjab están representadas por:
  - A. Calizas, cuarciarenitas, metacuarciarenitas, filitas y mármol correspondientes a la Fm Otjovazandu del Grupo Khoabendus
  - B. Cuarciarenitas, cuarcitas sericíticas, esquisto sericítico y esquisto clorítico-calcáreo-epidótico representantes de la Fm West End del Grupo Khoabendus
  - C. Granitos biotíticos y granodioritas biotíticas de la Serie granítica Fransfontein
3. Las paragénesis minerales determinadas son las siguientes:
  - ✓ Filita: sericita + cuarzo + mena metálica
  - ✓ Cuarciarenita: cuarzo, carbonato, mena metálica
  - ✓ Metacuarciarenita: cuarzo + clorita +sericita + mena metálica + circón
  - ✓ Caliza esparita: carbonato (calcita), cuarzo, sericita, muscovita, mena metálica
  - ✓ Mármol: Calcita + cuarzo + mica muscovita ± sericita
  - ✓ Caliza micrítica: grafito?, mena metálica, carbonato, cuarzo
  - ✓ Cuarcita sericítica: cuarzo, sericita, magnetita
  - ✓ Cuarciarenita: cuarzo, calcedonia, mena metálica, carbonato
  - ✓ Esquisto cuarzo-sericítico: cuarzo + sericita
  - ✓ Esquisto clorítico-calcáreo-epidótico: clorita + carbonato + epidota + cuarzo + plagioclasas
  - ✓ Granito biotítico: feldespato potásico, cuarzo, plagioclasas (sericitizadas), biotita, esfena, mena metálica

- ✓ Granodiorita bitotítica: microclina, cuarzo, plagioclasas, biotita, mena metálica, clinozoicita, epidota, leucoxeno?
4. Según la mineralogía y las texturas observadas durante los análisis petrográficos y las estructuras en afloramientos durante los trabajos de campo, se manifiesta una afectación de metamorfismo de bajo grado hacia el sur.
  5. Se elaboró el mapa geológico de la región de estudio a escala 1:30 000 que constituye uno de los resultados o aporte del trabajo de diploma (ver Anexo 1).
  6. Es importante destacar la presencia de mena metálica en la mayoría de las muestras constituidas por magnetita y rutilo que evidencia la posible existencia de un yacimiento de hierro (iron formation).

## Recomendaciones

1. Realizar análisis espectrales de elementos trazas y de las tierras raras, con el objetivo de profundizar en el conocimiento de la evolución geológica de la región.
2. Tomar muestras en las cercanías de la zona de contacto para verificar la presencia de corneanas u hornfelsas.
3. Desarrollar un estudio detallado de las menas de hierro y titanio pues sus contenidos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{TiO}_2$  son elevados y pudieran indicar la existencia de yacimientos de tipo magnetítico.
4. Verificar la existencia de burbujas o laminillas de óxido de titanio en la magnetita mediante estudios de secciones pulidas y microsondas con el objetivo de discriminar la existencia o no de un yacimiento de hierro.

## Bibliografía

- ANTHONISSEN, C.J. (2009): The mid-crustal architecture of a continental arc - a transect through the South Central Zone of the Pan-African Damara Belt, Namibia. Tesis de Maestría. University of Stellenbosch. 138 p.
- AVERAGE HIGH/LOW TEMPERATURE FOR KAMANJAB, NAMIBIA (2013) <http://www.worldweatheronline.com/Kamanjab-weather/Kunene/NA.aspx> [consulta: 29 enero 2013]
- BECKER, T., SCHREIBER, U., KAMPUNZU, A.B., ARMSTRONG, R. (2006): Mesoproterozoic rocks of Namibia and their plate tectonic setting, *Journal of African Earth Sciences*
- BURGER, A.J., CLIFFORD, T.N., MILLER, R.MC.G. (1976): Zircon U–Pb ages of the Fransfontein granitic suite, northern South West Africa. *Precambrian Research* 3: 405–431.
- CARDOSO-VELÁZQUEZ, L. & ROJAS-PURÓN, A. (2003): Webmineral: Identificador de Minerales en muestras macroscópicas. ISMM. Moa, Cuba.
- CLIFFORD T.N., NICOLYSEN L.O., BURGER A.J. (1962): Petrology and age of the pre-Otavi basement granite at Fransfontein, northern South-West Africa. *Journal of Petrology*, 3.
- CLIFFORD, T.N., ROOKE, J.M., ALLSOPP, H.L. (1969): Petrochemistry and age of the Franzfontein granitic rocks of northern South-West Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 33.
- CLIMATE, WEATHER, TEMPERATURES – CITY: KAMANJAB (2013). <http://www.levoyageur.net/weather-namibia-kamanjab>. [consulta: 29 enero 2013]
- DÁVILA-BURGA, J. (2011): Diccionario Geológico. 3ra. ed. Lima: Arth Grouting S.A.C. 901 p.
- FOLK, R. (1962): Spectral subdivision of limestone types. *Am. Petrology. Geological. Bulletin*, 43: 1-39.

- FRETS, D. C. (1969): Geology and structure of the Huab-Welwitschia area South-West Africa. *Bulletin of Precambrian Research*, University of Cape Town 5: 235.
- GEOLOGICAL SURVEY OF NAMIBIA (2012): Mineral Resources of Namibia. Economic Geology 1:250,000 Map Series. Summary of Mineral Deposits and Occurrences, Kamanjab Sheet 1914.
- GEOLOGICAL SURVEY OF NAMIBIA (2013): Summary of Namibia's Geology. <http://www.mme.gov.na/gsn/namibiageology.htm> [consulta: 29 enero 2013]
- GEORGE, C. & PENNER D.F. (2002): Geological report on the Tevere Project, Boulder Mining Corporation, Namibia. 33 p.
- GILLESPIE, M R, AND STYLES, M T. (1999): BGS Rock Classification Scheme. Volume 1. Classification of igneous rocks. 2nd. ed. Londres: British Geological Survey Research Report, RR 99-06.
- GORSHKOV, G. & YAKUSHOVA, A. (1977): Geología General. La Habana: Editorial Pueblo y Educación
- HEINRICH, E.W.M (1960): Petrografía Microscópica. Ediciones Omega S.A. 298 p
- HURLBUT, C.S., KLEIN C (1976): Manual de Mineralogía de Dana. La Habana: Edición Revolucionaria. 564 p.
- KERR, P.F. (1984): Mineralogía óptica. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. 433 p.
- KONDJA, K.A. (2012): Petrography and Geochemistry of the Naruchas Iron Deposit, BSc Hons. University of Namibia. 65 p.
- LE MAITRE, R. W (1989): A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences. Blackwell Scientific Publication.
- LISLE. J.R. (2011): Geological Structures and Maps - a practical guide. Edición Revisada, 41-44.
- MELGAREJO, Joan Charles, coord. Atlas de asociaciones minerales en láminas delgadas. Barcelona: Ediciones Universitat de Barcelona

- MILLER, R., MCG. (2008): The Geology of Namibia -Volume 1- Archaen to Mesoproterozoic, Ministry of Mines and Energy. Geological Survey Namibia.
- MUVANGUA, E. (2006): Petrology and Geochemistry of the Khoabendus Group and the Fransfontein Suite in the Kamanjab Area, Northwestern Namibia. Trabajo de Diploma. University of Stellenbosch. 52 p.
- MUYONGO, A. (2006): The Geology of Part of Khoabendus Formation, 1914CB Kamanjab, Northwest of Kamanjab, Namibia. Trabajo de diploma. Hons. Univesiry of KwaZulu-Natal.
- NATIONAL BIODIVERISTY DATABASE (2013): Tree atlas of Namibia. <http://treeatlas.biodiversity.org.na/viewspec.php> [consulta: 10 feb 2013] NBD, Namibia
- ONTARIO GEOLOGICAL SURVEY (1989): Analytical capabilities and Services. Geoscience Laboratories, Ontario.
- PETTIJOHN, F.J. (1975): Sedimentary Rocks. New York: Harper & Row Publishers, Inc.
- PETTIJOHN, F.J. (1976): Rocas sedimentarias. 3. Ed. Buenos aires: EUDBA (Ed. Universidad de Buenos Aires). 731 p.
- PETTIJOHN F, POTTER P & SIEVER R, (1987): Sand and sandstone, Springer – Verlag, New York, Segunda edición.
- PETTIJOHN, F.J. (1980): Rocas Sedimentarias, Ed. EUDBA (Ed. Universidad de Buenos Aires). 731p.
- PHILLIPS, W. J.; PHILLIPS, P. (1989): Fundamentos de Mineralogía para geólogos. 440 p.
- PORADA, H.R. (1974): The Khoabendus Formation in the Area Northwest Kamanjab and in Southeastern Kaokovelt, South West Africa. Department of Mines, Geological Survey.
- RAYMOND, L.A. (2000): Petrology, 2. ed. USA. 719 p.
- RODRÍGUEZ VEGA, A. (1997). Geoquímica general. La Habana: Editorial Félix Varela. ISBN 959-07-0123-X. 273 pp.

- SPRY, A., (1969). Metamorphic textures. Pergamon Press.
- STRECKEISEN, A. (1976). To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, Vol. 12: 1–33.
- STRECKEISEN, A., LE MAITRE, R.W. (1979): A chemical approximation to the modal QAPF classification of the igneous rocks. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen* - 136: 169–206.
- STRECKEISEN, A., (1976): Classification and Nomenclature of Igneous Rocks *Final Report of an Inquiry*. Vol. 107: 144-214.
- STRECKEISEN, A., (1976): IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatics and Melilitic Rocks. Recommendations and Suggestions. *Neues Jahrbuch für Mineralogie. Stuttgart. Abhandlungen*. Vol. 143: 1-14.
- TUCKER, M.E. (2003): Sedimentary Rocks in the Field. 3rd. ed. Durham: Department of Geological Sciences, University of Durham, UK. 231 p.
- VENTANA TECTÓNICA. (2013): En: Wikipedia Encyclopedia [http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ventana\\_tect%C3%B3nica&oldid=41962160](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ventana_tect%C3%B3nica&oldid=41962160) [consulta: 10 feb. 2013]
- VIETZE, M. (2009): Geology and emplacement controls of the Stinkbank granite in the south Central Zone of the Pan-African Damara Belt, Namibia. Tesis de Maestría. University of Stellenbosch. 109 p.
- WILSKY, F. (2010): Geochemical characterization & age determination at granitoids and orthogneisses of the Kamanjab inlier (Namibia). Trabajo de Diploma. Georg-August-Universität, Göttingen. 129 p.
- WINKLER, H.G.F. (1979): Petrogenesis of Metamorphic Rocks. New York, EUA: Springer-Verlag; 348 p.

# **ANEXOS**

ANEXO 1: MAPA GEOLOGICO DEL AREA PROPUESTO POR EL AUTOR

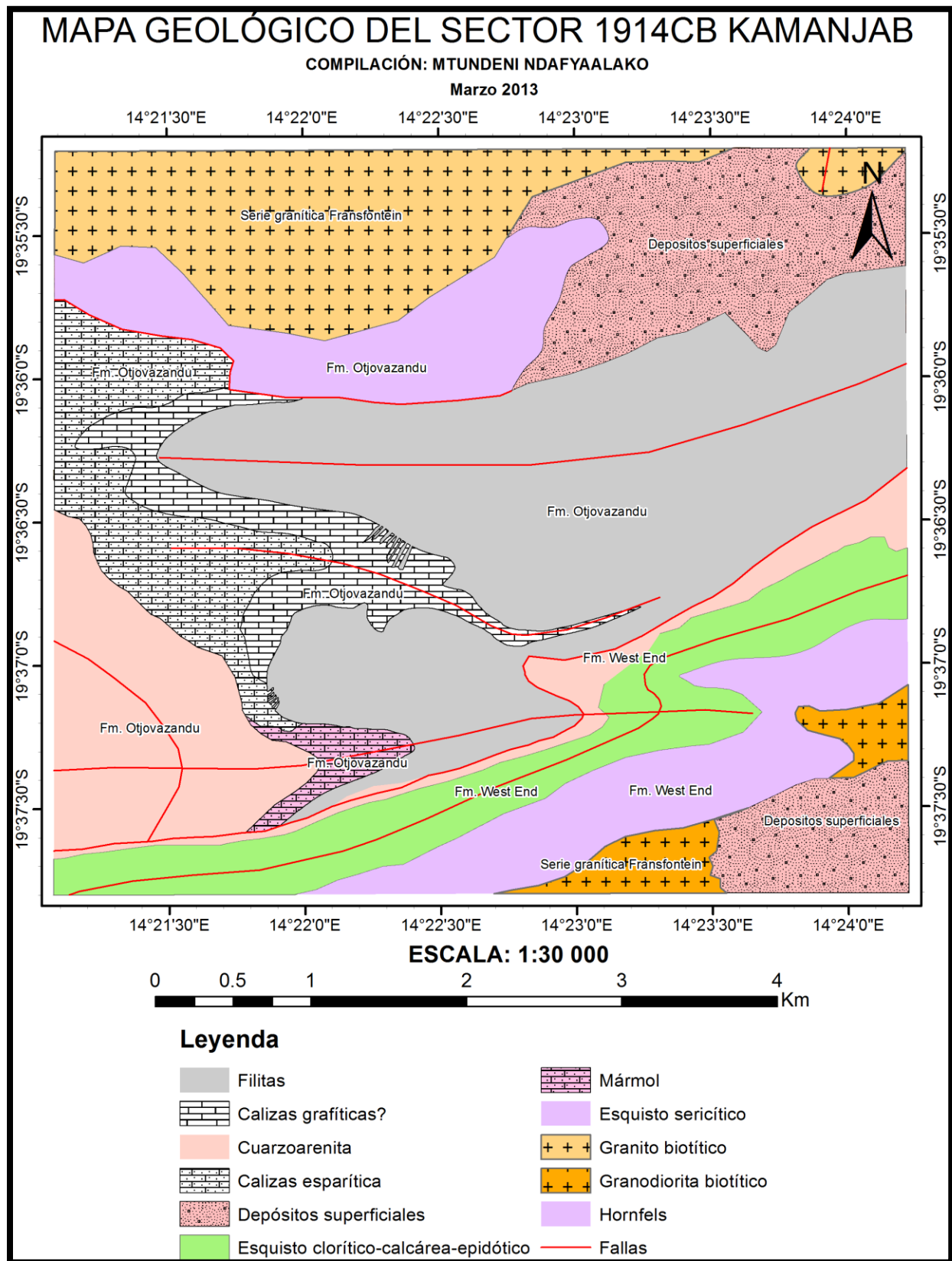


Figura 1.1 Anexo 1: Mapa geológico de rea de estudio propuesto por el autor

*ANEXO 2: RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO (FRX)*

| MUESTRA   | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO          | MgO          | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | MnO         | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|-----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|------------------|------------------|-------------|--------------------------------|
| <b>1</b>  | <b>97.61</b>     | <b>0.90</b>                    | <b>0.77</b>                    | <b>0.36</b>  | <b>0.00</b>  | <b>0.08</b>      | <b>0.03</b>      | <b>0.01</b> | <b>0.01</b>                    |
| <b>2</b>  | <b>65.82</b>     | <b>2.82</b>                    | <b>19.73</b>                   | <b>0.67</b>  | <b>0.00</b>  | <b>6.43</b>      | <b>0.55</b>      | <b>0.05</b> | <b>0.01</b>                    |
| <b>3</b>  | <b>22.10</b>     | <b>2.82</b>                    | <b>3.04</b>                    | <b>31.93</b> | <b>6.91</b>  | <b>0.46</b>      | <b>0.13</b>      | <b>0.63</b> | <b>0.00</b>                    |
| <b>4</b>  | <b>86.85</b>     | <b>2.20</b>                    | <b>7.05</b>                    | <b>0.35</b>  | <b>0.00</b>  | <b>2.20</b>      | <b>0.38</b>      | <b>0.04</b> | <b>0.01</b>                    |
| <b>5</b>  | <b>37.31</b>     | <b>0.56</b>                    | <b>6.29</b>                    | <b>18.15</b> | <b>12.73</b> | <b>3.69</b>      | <b>0.52</b>      | <b>0.01</b> | <b>0.03</b>                    |
| <b>6</b>  | <b>37.41</b>     | <b>16.48</b>                   | <b>12.47</b>                   | <b>8.44</b>  | <b>10.01</b> | <b>0.00</b>      | <b>1.57</b>      | <b>0.28</b> | <b>0.03</b>                    |
| <b>7</b>  | <b>100.35</b>    | <b>0.67</b>                    | <b>1.42</b>                    | <b>0.54</b>  | <b>0.00</b>  | <b>0.31</b>      | <b>0.05</b>      | <b>0.01</b> | <b>0.01</b>                    |
| <b>8</b>  | <b>77.65</b>     | <b>3.77</b>                    | <b>12.38</b>                   | <b>1.35</b>  | <b>0.00</b>  | <b>4.42</b>      | <b>0.65</b>      | <b>0.08</b> | <b>0.03</b>                    |
| <b>9</b>  | <b>57.01</b>     | <b>8.06</b>                    | <b>24.51</b>                   | <b>0.38</b>  | <b>0.00</b>  | <b>6.05</b>      | <b>0.80</b>      | <b>0.04</b> | <b>0.03</b>                    |
| <b>10</b> | <b>26.16</b>     | <b>73.72</b>                   | <b>14.04</b>                   | <b>0.50</b>  | <b>0.00</b>  | <b>2.25</b>      | <b>6.32</b>      | <b>0.04</b> | <b>0.10</b>                    |
| <b>11</b> | <b>83.54</b>     | <b>10.51</b>                   | <b>8.62</b>                    | <b>0.31</b>  | <b>0.00</b>  | <b>2.29</b>      | <b>1.30</b>      | <b>0.03</b> | <b>0.01</b>                    |
| <b>13</b> | <b>74.44</b>     | <b>3.76</b>                    | <b>15.40</b>                   | <b>1.38</b>  | <b>0.00</b>  | <b>5.31</b>      | <b>0.57</b>      | <b>0.06</b> | <b>0.03</b>                    |
| <b>14</b> | <b>9.35</b>      | <b>4.92</b>                    | <b>0.79</b>                    | <b>25.24</b> | <b>18.02</b> | <b>0.00</b>      | <b>0.07</b>      | <b>1.07</b> | <b>0.01</b>                    |
| <b>15</b> | <b>54.87</b>     | <b>21.67</b>                   | <b>12.42</b>                   | <b>0.81</b>  | <b>0.00</b>  | <b>1.06</b>      | <b>2.14</b>      | <b>0.46</b> | <b>0.04</b>                    |

Figura 1.1 Anexo 2: Resultados de los óxidos mayores (Florescencia de Rayos-X)

### *ANEXO 3: INVENTARIO DE LITOLOGIAS Y OBSERVACIONES DE CAMPO*

#### **1.1.1 Grupo Khoabendus (rocas vulcano sedimentarias)**

##### **1.2.1.1 Formación Otjovazandu**

##### **Filitas**

###### **Descripción**

Estas rocas son de color pardo rojizo de granos finos de minerales micáceas brillantes. Los valores de buzamiento medido son entre  $67^\circ$  y  $84^\circ$  dominando valores mayor que  $74^\circ$ . En algunas áreas se observaron venas de cuarzo. La foliación es prominente en dirección NE-SW, pero en el sector NW la foliación y rumbo de estas rocas es casi en dirección E-W. Se observó mineralización de magnetita. Cerca de su contacto con los granitos, estas rocas parecen muy alteradas.



Figura 1.1 Anexo 3: Afloramiento de filitas

##### **Cuarciarenitas**

###### **Descripción**

Se observó afloramientos de cuarciarenita masiva color blanco de grano fino a medio. En la granja Eendrag, afloramientos de enormes bloques de cuarcita extienden en dirección NW-SE. Cristales de hábito hexagonal bien formados hasta 1cm de longitud están presentes en esta zona (Figura 1.2 Anexo 3). A poca distancia hacia el norte,

laminación cruzada con láminas delgadas de magnetita y ripple marks ocurren en la parte superior de la unidad (Figura 1.3 Anexo 3). Valores de buzamiento entre  $74^{\circ}$  y  $82^{\circ}$  en direcciones entre  $120^{\circ}$  y  $138^{\circ}$  respectivamente.



Figura 1.2 Anexos 3: Cristales de tamaño medio de cuarzo



Figura 1.3 Anexo 3: Laminación en la parte superior de las cuarciarenitas

### **Rocas Carbonatadas**

#### **Descripción**

Estas rocas afloran en la zona centro-oeste de la región de estudio. Su color es gris pardo a gris-oliva pardo, con vetas de cuarzo en algunos puntos. Su foliación es en dirección NE. Los valores de buzamiento medidos varían entre  $84^\circ$  a casi vertical en la dirección noroeste. Se produjo efervescencia cuando gotas de ácido hidroc্লórico fueron introducidas a una superficie fresca. Bloques dispersos de mármol se observaron en esta área.



Figura 1.4 Anexo 3: Afloramiento de Rocas carbonatadas

Rocas pardas oscuras a pardas grisesas con grandes afloramientos medidos a más de 7 metros de ancho que extienden en dirección NW. En algunos puntos, el ancho de sus afloramientos extiende solo a decenas de centímetros. Existen intercalaciones de carbonatadas y filitas (Figura 1.5 Anexo 3) en varios puntos. Hay mineralización de magnetita en estas rocas y venas de cuarzo (Figura 1.6 Anexo 3). La foliación es en dirección NE-SW. Su buzamiento está en dirección entre  $281^{\circ}$  y  $318^{\circ}$  con valores uniformemente alrededor de  $80^{\circ}$ .



Figura 1.5 Anexo 3: Intercalaciones de rocas carbonatadas y filitas (S19°36'37"; E14°22'21")

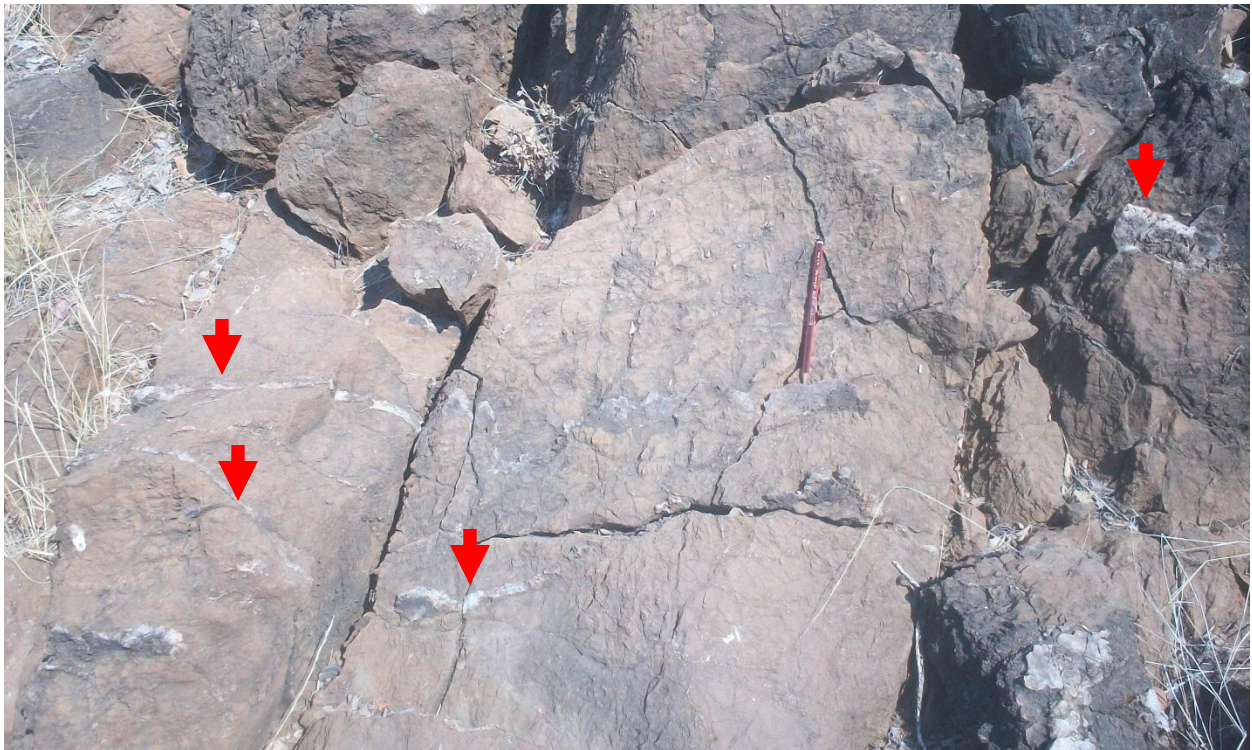


Figura 1.6 Anexo 3: Afloramiento de rocas carbonatadas (observe las venas de cuarzo indicadas por las flechas).

### 1.1.1.2 Formación West End

En el campo se observó que esta formación está representado por las unidades en la parte sur del área de estudio. No se pudo observar claramente el contacto de esta formación entre sus cuarcitas de minerales pesados con las granodioritas de la serie granítica de Fransfontein. La litología de esta formación que se observó en el área de estudio consiste en cuarcita de minerales pesados y meta arenitas identificados en campo como esquistos cuarzosos.

#### Cuarcitas con minerales pesados

##### Descripción

Afloran rocas de color crema con clara observación de laminación y laminación cruzada (Figura 1.7 Anexo 3). Minerales máficos, probablemente magnetita definen la laminación cortadas por venas plegadas de cuarzo blanco (Figura 1.8 Anexo 3) El buzamiento de estas rocas tiende a la dirección de  $274^\circ$  con valores de alrededor de  $85^\circ$ .

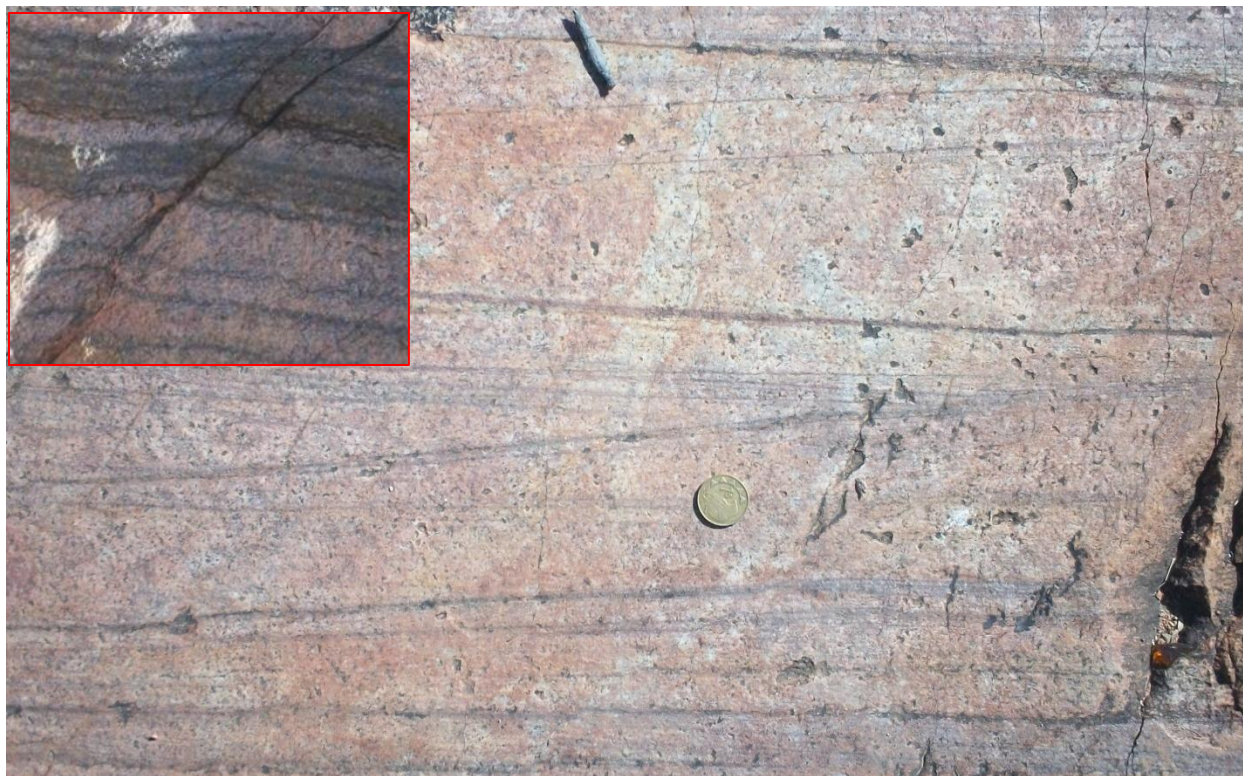


Figura 1.7 Anexo 3: Laminación cruzada en la cuarcita (insertada: laminas prominentes de magnetita)



Figura 1.8 Anexo 3: Láminas de minerales pesados cortados por venas de cuarzo

Algunas fallas locales se observaron en uno de los afloramientos las cuales mediante la inspección parecen ser fallas inversas (Figura 1.9 Anexo 3). La foliación está presente con planos perfectos paralelos a la laminación. También se observó un micro pliegue (Figura 1.10 Anexo 3).

La orientación presente de la laminación es vertical, sugiriendo que la unidad pudo haber sido inclinado tectónicamente después del proceso de deposición (Figura 1.11 Anexo 3). Esta unidad hace contacto con los esquistos cuarzosos.



Figura 1.9 Anexo 3: Falla en la roca indicada por el desplazamiento (en círculo) de las láminas



Figura 1.10 Anexo 3: Un micro pliegue en las cuarcitas



Figura 1.11 Anexo 3: La orientación verticalmente inclinada de las cuarcitas ( $19^{\circ}37'30''\text{E}$ ;  $14^{\circ}22'15''\text{S}$ .)

### **Esquistos cuarzosos**

#### **Descripción**

Una roca gris-oliva de granos muy finos, altamente foliada con una superficie resbalosa. La foliación está definido por minerales micáceos. Se observó mineralización de epidota importante (en las coordenadas  $19^{\circ}37'13''\text{S}$ ;  $14^{\circ}23'10''\text{E}$ ) aumentando hacia el norte donde se documentó el contacto entre este esquisto y las cuarcitas (Figura 1.13 Anexo 3). La dirección de buzamiento de estas rocas está entre  $314^{\circ}$  y  $324^{\circ}$  con valores de buzamiento entre  $75^{\circ}$  y  $88^{\circ}$  respectivamente.



Figura 1.12 Anexo 3: Afloramiento de esquistos cuarzosos fuertemente foliados



Figura 1.13 Anexo 3: mineralización de epidota (gris verdoso) en los esquistos cuarzosos

### 1.2.2 Serie granítica Fransfontein

#### Granitos

##### Descripción

Está caracterizada por una textura porfírica de granos gruesos de cuarzo y feldespato potásico. La orientación de alongada de fenocristales de cuarzo y feldespato potásico es paralela a la foliación que a su vez está definida por micas de color negro, probablemente biotita, que son los únicos minerales máficos observados (Figura 1.14 Anexo 3). Hacia el centro de la zona de estudio, en la granja Ootrek, bloques enormes de granitos contienen xenolitos que parecen ser de origen filítico (Figura 1.15 Anexo 3).



Figura 1.14 Anexo 3: Textura porfírica del granito Kaross.

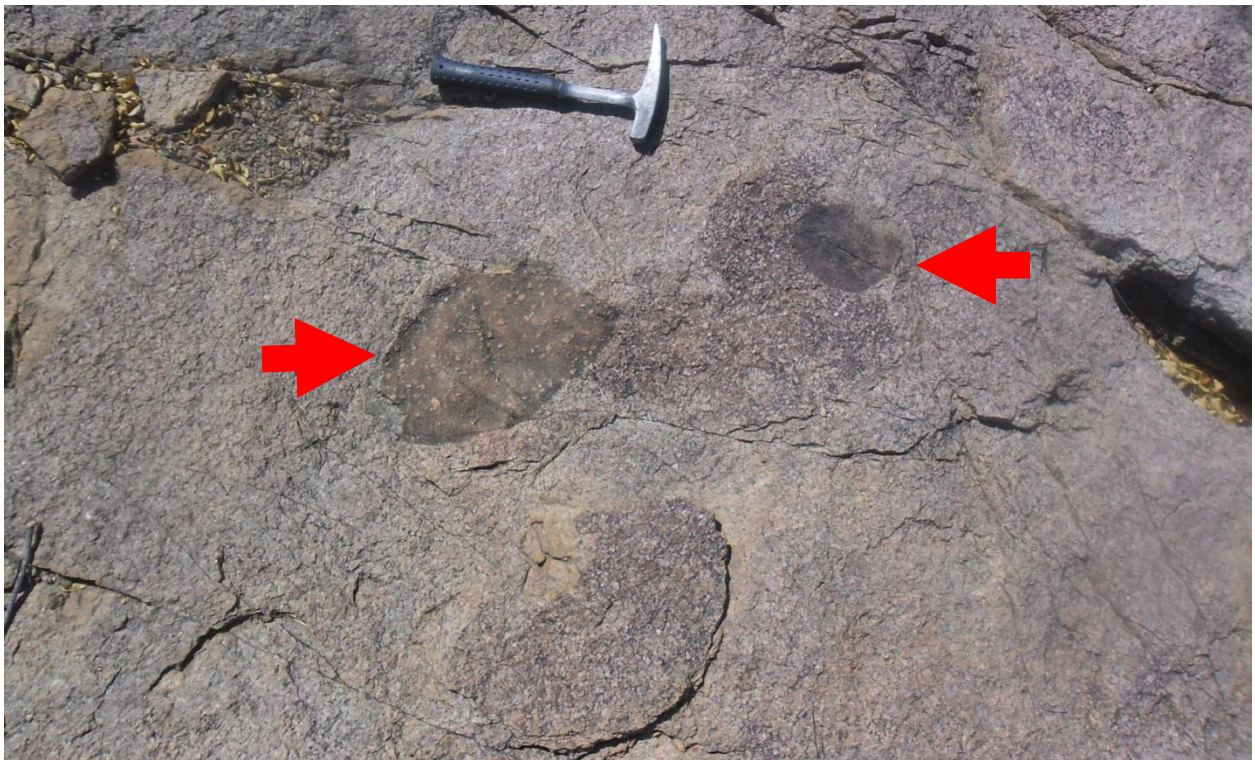


Figura 1.15 Anexo 3: Xenolitos dentro del granito Kaross.

## Granodioritas

### Descripción

En el sector sur del área de estudio, decenas de metro dentro de la granja Atlanta al norte de la carretera Kamanjab-Eerwe, se observó afloramientos dispersada de estas rocas. Estas granodioritas de granos muy gruesos de color gris pardo claro extienden desde el sur hacia el extremo sureste hacia más allá del área del estudio. Se identificaron los minerales constituyentes como cuarzo, biotita y feldespato potásico. La textura es porfírica y la foliación presente está definido por la biotita. Cabe señalar que la cantidad de los minerales félsicos es comparativamente igual que de los máficos en esta roca.



Figura 1.16 Anexo 3: Granodiorita con textura porfírica formado por cuarzo, biotita y feldespato potásico

Los datos estructurales medidos en estos afloramientos indican valores de buzamiento y su dirección de  $\pm 88$  y  $\pm 352^\circ$  respectivamente.

### 1.2.3 Depósitos Superficiales

En menor extensión se observó sectores cubiertos por depósitos superficiales el sector noreste del área estudiado. En las llanuras de los ríos en el noreste y en menor extensión en el noroeste y en el extremo sur centro del área (Figura 1.17 Anexo 3). El material es principalmente arena cuarzosa. No se prestó mucha atención en esta material y no se tomó muestras.



Figura 1.17 Anexo 3: Depósitos superficiales de arenas cuarzosas

## ANEXO 4: ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LOS AFLORAMIENTOS

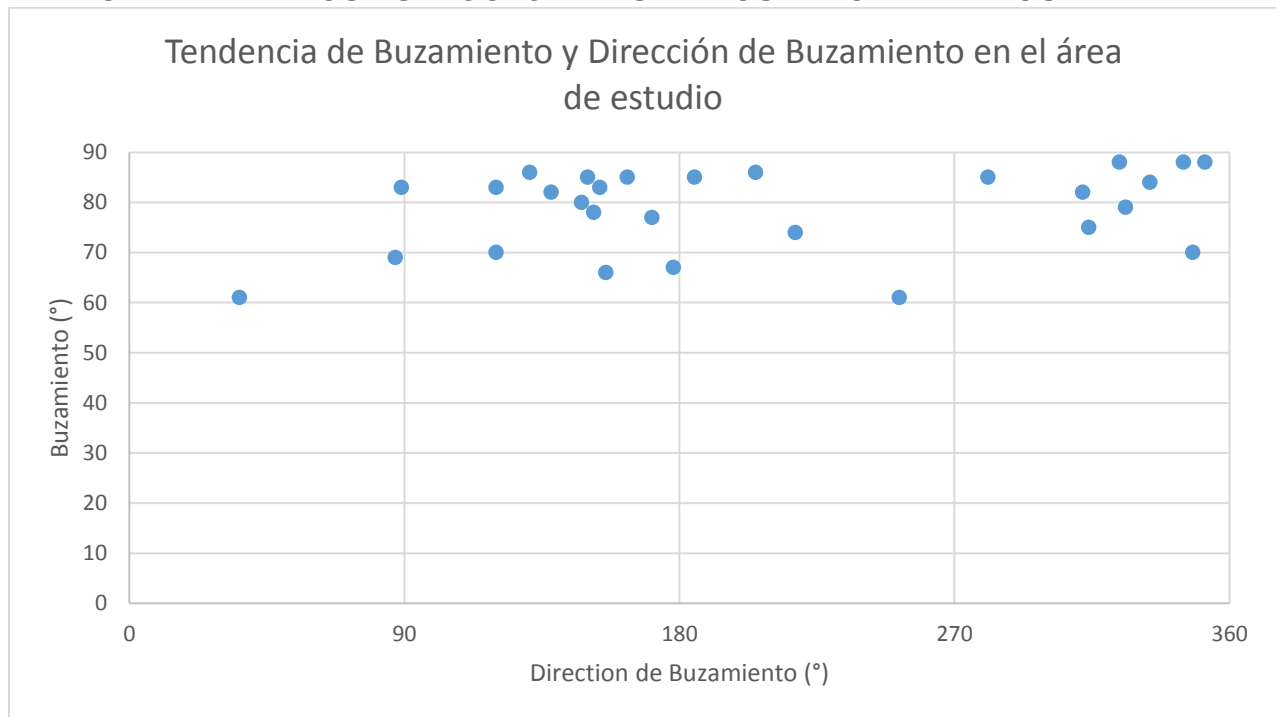


Figura 1.1 Anexo 4: Tendencias de buzamiento y dirección de buzamiento en los afloramientos